



**UNIVERSIDAD DE CUENCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS  
CARRERA DE INGENIERIA AGRONÓMICA**

**Relación entre el manejo forestal, variables ambientales y edáficas con el  
crecimiento y productividad en plantaciones de *Pinus patula*, en los  
Andes del Sur del Ecuador**

Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

**AUTORES:**

**MARCO FERNANDO SÁNCHEZ NUGRA**

**DARÍO JAVIER GUALLPA TENEMAZA**

**DIRECTOR:**

**Ing. ÁNGEL OSWALDO JADÁN MAZA Mg. Sc**

**Cuenca – Ecuador**

**2015**

**RESUMEN**

Los programas de reforestación ejecutados hace algunos años han sido impulsados con gran intensidad en la sierra ecuatoriana, con el fin de brindar servicios ecosistémicos y de proveer madera, las especies utilizadas para estos fines han sido principalmente con especies exóticas. En la presente investigación cuyos objetivos fueron: 1) Estimar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *Pinus patula* en tres pisos altitudinales en las provincias del Azuay y Cañar, y 2) Determinar la relación entre variables ambientales, topográficas y edáficas asociadas a una gradiente altitudinal, sobre el crecimiento, producción y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *P. patula*. Metodológicamente se seleccionó nueve plantaciones, tres por cada piso altitudinal (3200 msnm, 3500 msnm y 3700 msnm) donde se establecieron al azar 30 parcelas o unidades de muestreo. Estadísticamente para contestar primer objetivo se analizaron dos factores: 1) la gradiente altitudinal y 2) el manejo forestal representado por las podas; combinando estos dos factores se obtuvo seis tratamientos de análisis que fueron comparados a través pruebas de ANDEVA, LSD - Fisher ( $p < 0,05$ ). Para contestar el segundo objetivo se realizó correlaciones de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre las variables ambientales, fisiográficas y edáficas con las variables de crecimiento, producción y productividad. Los resultados muestran que las variables de crecimiento, producción y productividad presentan diferencias significativas respecto a la altitud (3200, 3500, 3700 msnm), y no presentan diferencias significativas en el manejo.

**Palabras clave:** Productividad, producción, crecimiento, manejo forestal.

**ABSTRACT**

Reforestation programs have been executed some years ago and have been driven with great intensity in the Ecuadorian highlands. They provide ecosystem services and wood. The area has been mainly reforested with exotic species. In the forestry potential this research was conducted with the following objectives:

1) To estimate the growth, production and productivity on plantations of *Pinus patula* managed and unmanaged in three altitudinal in the provinces of Azuay and Cañar 2) To determine the relationship between environmental, topographic and soil variables associated with an altitudinal gradient on the growth, production and productivity in managed and unmanaged *P. patula* plantations Methodologically nine plantations, three for each altitude level (3200 m, 3500 m and 3700 m). To answer the first object two factors were analyzed: 1) the altitudinal gradient and 2) the forest management represented by pruning; by combining these two factors which were obtained six treatments were compared ANDEVA, LSD - Fisher ( $p < 0,05$ ). To answer the second objective Pearson correlations ( $p < 0.05$ ) between environmental, physiographic and soil variables with the variables of growth, production and productivity were performed. The results show that the variables of growth, production and productivity show significant differences in altitude (3200, 3500, 3700 meters), and not present show significant differences in management.

**Keywords:** Productivity, production, growth, forest management.

**Contenido**

RESUMEN .....	2
ABSTRACT .....	3
1. INTRODUCCIÓN .....	16
2. JUSTIFICACIÓN .....	18
3. OBJETIVOS .....	20
3.1 Objetivo General .....	20
3.2 Objetivos específicos .....	20
4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN .....	20
5. REVISIÓN DE LITERATURA .....	21
5.1. Historia de las plantaciones de <i>P. patula</i> en el Ecuador, provincias de Azuay y Cañar .....	21
5.2. Distribución y descripción taxonómica de <i>P. patula</i> .....	22
5.3. Relación entre altitud con el crecimiento, producción y productividad de <i>P. Patula</i> .....	22
5.4. Relación entre pendiente con el crecimiento, producción y productividad de <i>P. patula</i> .....	24
5.5. Influencia de la temperatura y precipitación en el crecimiento, producción y productividad de <i>P. patula</i> .....	25
5.6. Influencia del suelo en el crecimiento, producción y productividad de <i>P. patula</i> .....	26
5.7. Las Podas y su influencia con el crecimiento, producción y productividad de <i>P. patula</i> .....	31
6. MATERIALES Y MÉTODOS .....	32
6.1 Descripción del área de estudio .....	32
6.2 Metodología para determinar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de <i>P. patula</i> manejadas y no manejadas en diferentes pisos altitudinales .....	33
6.2.1 Selección de los sitios de muestreo .....	33
6.3 Metodología para determinar la relación entre variables ambientales de precipitación, temperatura, topográficas y edáficas sobre el crecimiento y productividad en plantaciones de <i>P. patula</i> implementadas en diferentes pisos altitudinales .....	35
7. ANALISIS ESTADISTICO .....	36
7.1 Análisis estadístico para estimar el crecimiento y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de <i>P. patula</i> en diferentes pisos altitudinales en las provincias del Azuay y Cañar .....	36
7.2 Análisis estadístico para determinar la relación entre variables ambientales de precipitación, temperatura, topográficas y edáficas asociadas a diferentes pisos altitudinales, sobre el crecimiento,	



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

producción y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de <i>P. patula</i> en las provincias de Azuay y Cañar.....	38
7.3 Variables de crecimiento y su relación con la altitud y manejo forestal (tratamientos).....	38
7.4 Variables de crecimiento en plantaciones de <i>P. patula</i> y su relación con pisos altitudinales.....	40
7.5 Variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal - podas .....	42
7.6 Variables de producción y productividad y su relación con la altitud y manejo forestal (tratamientos) .....	44
7.7 Variables de producción, productividad y su relación con pisos altitudinales.....	45
7.8 Variables de producción y productividad en escenarios de manejo forestal.....	47
7.9 Variables ambientales, fisiográficas y edáficas y su relación con pisos altitudinales .....	49
7.10 Correlaciones entre variables crecimiento con ambientales y fisiográficas en pisos altitudinales.....	50
7.11 Correlaciones de entre variables crecimiento con edáficas en pisos altitudinales. ....	51
7.12 Correlaciones entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en pisos altitudinales.....	52
7.13 Correlaciones entre variables edáficas con las de producción y productividad, en pisos altitudinales.....	53
8. DISCUSIÓN .....	54
8.1 ¿Existe relación entre el manejo forestal (podas) sobre el crecimiento producción y productividad en plantaciones de <i>P. patula</i> , implementadas a diferentes pisos altitudinales? .....	54
8.2 ¿Existe relación entre la variables de temperatura, precipitación, topográficas (pendiente) y edáficas asociadas a la altitud con el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de <i>Pinus patula</i> manejadas y no manejadas, en las provincias de Azuay y Cañar?55	
9. CONCLUSIONES .....	58
10. RECOMENDACIONES.....	59
11. ANEXOS .....	60
12. BIBLIOGRAFIA .....	77



## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Según Ramirez (1999) en México – Oxaca evaluo el Promedio $\pm$ Desviación estándar (DE) por procedencia de las variables de crecimiento expresado en el IMA-altura en plantaciones de <i>P. patula</i> implementadas en diferentes rangos altitudinales.....	23
<b>Tabla 2.</b> En las provincias de Cotopaxi – Ecuador, Paguanquiza (2012) evaluó el crecimiento, producción y productividad de <i>P. patula</i> en diferentes gradientes altitudinales. ....	24
<b>Tabla 3.</b> Requerimientos edáficos nutricionales para <i>Pinus patula</i> .....	28
<b>Tabla 4.</b> Funciones de los nutrientes, síntomas de deficiencia y niveles máximos y mínimos Herrera (2003) para el crecimiento de <i>P. Patula</i> .....	29
<b>Tabla 5.</b> Fórmulas para el cálculo de las variables de crecimiento, producción y productividad. ....	35
<b>Tabla 6.</b> Factores y niveles empleados para evaluar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de pino. ....	37
<b>Tabla 7.</b> Número de tratamientos, descripción y repeticiones para evaluar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de pino.....	37
<b>Tabla 8.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo tratamientos en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	39
<b>Tabla 9.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	41
<b>Tabla 10.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	43
<b>Tabla 11.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo interacciones o tratamientos, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	44
<b>Tabla 12 .</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de productividad evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	46
<b>Tabla 13.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de productividad en escenarios de manejo forestal, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	47
<b>Tabla 14.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables ambientales, fisiográficas y edáficas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	49
<b>Tabla 15.</b> Análisis de correlación entre variables crecimiento con las variables ambientales en los diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	51
<b>Tabla 16.</b> Análisis de correlación de entre variables crecimiento con las variables edáficas en los diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ....	51
<b>Tabla 17.</b> Correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. ...	52



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Tabla 18.** Correlaciones de Pearson entre variables edáficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. .... 53



## LISTADO DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación del área de investigación en las provincias de Azuay y Cañar.....	32
<b>Figura 2.</b> Esquema de selección de las plantaciones con criterios de manejo y sin manejo forestal. ....	34
<b>Figura 3.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo tratamientos en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos). Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes, C: con manejo; S: Sin manejo forestal; T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos).....	40
<b>Figura 4.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. ....	42
<b>Figura 5.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. ....	44
<b>Figura 6.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo interacciones o tratamientos, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. C: con manejo; S: Sin manejo forestal; T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos).....	45
<b>Figura 7.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de productividad evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. ....	47
<b>Figura 8.</b> Promedios ( $\pm$ error estándar) de las variables de productividad en escenarios de manejo forestal, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de <i>P. patula</i> de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. ....	48



**LISTADO DE ANEXOS**

Anexo 1. Mapas guías de las plantaciones .....	60
Anexo 2. Parcelas identificadas con sus respectivas coordenadas en los diferentes sitios de investigación.....	64
Anexo 3. Tabla para tomar datos en campo .....	65
Anexo 4. Tabla de variables de crecimiento y productividad.....	66
Anexo 5. Tabla de variables climáticas de precipitación , temperatura y topográficas.....	67
Anexo 6. Tabla de variables edáficas.....	68
Anexo 7. Valores de correlaciones.....	69



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, Marco Fernando Sánchez Nugra, autor de la tesis, **Relación entre el manejo forestal, variables ambientales y edáficas con el crecimiento y productividad en plantaciones de *Pinus patula*, en los Andes del Sur del Ecuador**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 11 de diciembre de 2015

Marco Fernando Sánchez Nugra

0104914239



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca  
Clausula de derechos de autor

---

Yo, *Darío Javier Guallpa Tenemaza*, autor de la tesis, **Relación entre el manejo forestal, variables ambientales y edáficas con el crecimiento y productividad en plantaciones de *Pinus patula*, en los Andes del Sur del Ecuador**, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Ingeniero Agrónomo. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor

Cuenca, 11 de diciembre de 2015

Darío Javier Guallpa Tenemaza

0301536595



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Marco Fernando Sánchez Nugra, autor de la tesis, **Relación entre el manejo forestal, variables ambientales y edáficas con el crecimiento y productividad en plantaciones de *Pinus patula*, en los Andes del Sur del Ecuador**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 11 de diciembre de 2015

Marco Fernando Sánchez Nugra

C.I: 0104914239



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca  
Clausula de propiedad intelectual

Yo, Darío Javier Gualpa Tenemaza, autor de la tesis, **Relación entre el manejo forestal, variables ambientales y edáficas con el crecimiento y productividad en plantaciones de *Pinus patula*, en los Andes del Sur del Ecuador**, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 11 de diciembre de 2015

Darío Javier Gualpa Tenemaza

0301536595



## DEDICATORIA

Dedicado para ti mujer luchadora y valiente Carmen Delia Nugra ya que tú has sido el motor principal para lograr esta meta por eso de todo corazón te dedico a ti madre madre querida. Este arduo trabajo va dedicado también a la memoria de mi adorado padre Miguel Ignacio Sánchez que desde el cielo siempre me has acompañado en los momentos duros del camino recorrido, así mismo se la dedico a mi familia por ser mi inspiración en especial a mis queridos tios Rosa Calle y Manuel Nugra, a mis amiga/os por estar siempre apoyándome en todos los momentos difíciles y tratando de alegrar los días duros y tristes.

Marco

A Dios como ser supremo y creador nuestro y de todo lo que nos rodea, por haberme dado la inteligencia, paciencia, perseverancia y ser el guía en mi vida. A ti mamacita María Tenemaza que con tú sencillez y humildad me has enseñado a luchar cada día y por estar siempre brindándome tu apoyo incondicional, así como también dedico este trabajo a mi papá Ángel Guallpa por sus sabios consejos que me han ayudado seguir adelante a pesar de las dificultades que se presentan en la vida. A ti querido hermano Benjita que siempre me has apoyado y me has brindado esa fortaleza y la serenidad necesaria para tomar las decisiones. A Todos mis familiares que han sabido confiar y apoyarme a diario en este proceso.

Darío



## AGRADECIMIENTO

Al dar por concluida la presente tesis queremos agradecer primeramente a papa Dios por regalarnos la vida y darnos la fortaleza para seguir luchando.

A nuestros padres por el amor, apoyo y esfuerzo que nos han brindado y por ser una guía de valores y perseverancia; enseñándonos a ser capaces de cumplir las metas que nos propongamos.

Un enorme agradecimiento al Ing. Oswaldo Jadán por brindarnos su tiempo, dedicación y su gran apoyo en este trabajo.

Agradecemos también de forma sincera y cordial a los miembros del Centro de Hidrología y Clima por la acogida y ayuda que nos han otorgado; especialmente al Dr. Patricio Crespo y al Ing. Carlos Quiroz por todas las experiencias compartidas su apoyo y acogida.

Un especial agradecimiento a nuestros familiares y amigos que son parte esencial de nuestra vida los cuales nos han impulsado a esforzarnos para alcanzar nuestros ideales y de forma incondicional nos han alentado en cada circunstancia que la vida nos ha presentado. Por último agradecemos a nuestros amigos y compañeros Jessica Mereci, Amanda Suqui, Kathrin Scriber, Marion, Christian Pacheco y Fanny Tapia, gracias a todos por el apoyo en este trabajo.



## 1. INTRODUCCIÓN

Durante las últimas décadas la reforestación en el Ecuador se ha impulsado intensamente con énfasis en la región Andina donde se ha utilizado especies arbóreas introducidas que han dado origen a las conocidas plantaciones forestales. Estos ecosistemas forestales proveen bienes como madera, semillas y en algunos contextos se asocian con productos forestales no maderables (Belcher y Schreckenberg 2007). Cumplen funciones ligadas a los servicios ecosistémicos como protección del suelo y regulación hídrica. Las plantaciones forestales cumplen un rol importante en el manejo forestal sustentable con su objetivo primordial ligado a la producción de madera legal (Farley 2007). Esto permite frenar de alguna manera la presión selectiva de maderas provenientes de bosques nativos, además de evitar o minimizar la tasa de deforestación (Cossalter y Pye-Smith 2003). Sin embargo luego de la implementación forestal es importante considerar los impactos positivos y negativos que se dan a los componentes del ecosistema lo cual está íntimamente relacionado con la planificación adecuada y al manejo forestal implementado entre los turnos de cosechas (Fox 2000, Hofstede *et al.* 2002, Stephens y Wagner 2007, Varmola y Montagnini 2005).

Hace algunos años bajo programas de reforestación ejecutados por el estado ecuatoriano y ONGs, en la sierra ecuatoriana se han concentrado el establecimiento de plantaciones forestales donde especies de *Pinus patula* pino ha sido utilizado muy intensamente (Hofstede y Aguirre 2001). Lamentablemente dentro de la planificación previa a la implementación no se consideró el uso potencial o aptitud forestal de los suelos (Little *et al.* 2009). Posteriormente no se realizó manejo forestal en áreas reforestadas, lo que ocasiono la baja producción y productividad en muchos contextos donde se implementó plantaciones. A esto se suma la falta de monitoreo utilizando parámetros silviculturales en especial de los índices de sitio que hubiesen permitido determinar sitios de mayor aptitud forestal (Gale *et al.* 1991). Según Galeas y Guevara (2012) muchos factores se asocian a la mala planificación





#### UNIVERSIDAD DE CUENCA

inicial entre ellos: el establecimiento de plantaciones sin objetivos claros, falta de experiencia y conocimientos sobre técnicas de manejo forestal, falta de asignación de recursos para financiar actividades de manejo, mercado de productos rollizos y elaborados inseguros o no existentes y la falta de cultura forestal (Hofstede. R 1998).

Desde la intervención académica es pertinente mencionar la falta de investigación a mediano y largo plazo sobre la dinámica de plantaciones forestales en todo el Ecuador. Esto sería posible realizarlo a través de parcelas permanentes que generen información como aporte técnico tangible para la toma de decisiones en el sector forestal a nivel regional y nacional (Hofstede y Ordoñez 2004). Con estos antecedentes se ha visto necesario el desarrollo de esta investigación descriptiva, para generar información sobre parámetros de crecimiento, producción y productividad, y su relación con variables ambientales y edáficas, en plantaciones forestales de *P. patula* entre 12 - 19 años de edad. Además se instaló sitios permanentes de monitoreo para realizar evaluación periódicas a mediano y largo plazo.



## 2. JUSTIFICACIÓN

La diversidad de ecosistemas terrestres en el Ecuador y sitios con aptitud forestal le permite contar con escenarios idóneos para fomento y desarrollo forestal, utilizando especies maderable requeridas en el mercado nacional e internacional (Velasquez 2007). En base a la gran demanda de madera, actualmente se trabaja en el cultivo y domesticación de especies nativas y exóticas (MAE-MAGAP 2012). Actual y potencialmente la utilización de madera es importante ya que aporta para el desarrollo socioeconómico del país a través de su cadena productiva (MAE 2014). Es así que el sector forestal aporta aproximadamente con 200 mil empleos directos (8,4% de la población) y 35 000 indirectos, contribuyendo con un total de 234 708 fuentes de trabajo (MAE 2014).

Cada región natural del Ecuador tiene particularidades específicas en base a sus ecosistemas (Galeas y Guevara 2012, Harden 2013) por lo que para implementar plantaciones forestales se debe seleccionar los sitios considerando todas las variables ambientales que influyen en la fisiología de las especies y en las variables de producción (Baltzer *et al.* 2005). Además se debe validar los objetivos de producción o conservación previa su instalación. Algunas características biofísicas han sido documentadas e institucionalizadas a través de zonificaciones ecológicas para conocer aproximadamente cuáles son las áreas idóneas para emprender proyectos forestales, sin someter al cambio de uso de la vegetación nativa (Galeas y Guevara 2012, MAE-MAGAP 2012). Esto actualmente permite de alguna manera realizar la actividad bajo un ordenamiento forestal aproximado.

En proyectos de reforestación realizados años atrás el manejo forestal era muy incierto, cuya inversión se tornaba una utopía (Hofstede y Lips 1998). Hace pocos años bajo iniciativas institucionales en especial empresariales se reconoce la urgencia de iniciar actividades de manejo, en plantaciones existentes y las implementadas actualmente con fines de mejorar la productividad (Evans y Turnbull 2004, Sargent y Bass 2013). También es necesario desde cualquier instancia institucional en especial dentro de



competencias académicas, monitorear y evaluar parámetros dasométricos en plantaciones manejadas y no manejadas, para obtener información que permita tomar decisiones relacionadas con la selección de especies, calidad de sitios y conocer que prácticas silviculturales son las más pertinentes aplicarlas.

En esta ocasión la Universidad de Cuenca bajo un proyecto de investigación a nivel de tesis de pregrado, se desarrolló esta investigación descriptiva para generar información puntual sobre parámetros de crecimiento, producción, productividad y su asociación con variables ambientales y edáficas en plantaciones de *P. patula* implementadas en diferentes pisos altitudinales, en ecosistemas andinos de las provincias del Azuay y Cañar. Con los resultados generados se pretende aportar al conocimiento silvicultural y la toma de decisiones dentro del sector forestal a nivel local y regional.



### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 Objetivo General

- Generar información sobre la influencia del manejo forestal y las variables ambientales y edáficas sobre el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de *P. patula*.

#### 3.2 Objetivos específicos

- Estimar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *P. patula* en diferentes pisos altitudinales en las provincias del Azuay y Cañar.
- Determinar la relación entre variables ambientales de precipitación, temperatura, topográficas y edáficas asociadas a una gradiente altitudinal, sobre el crecimiento y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *P. patula* en las provincias de Azuay y Cañar.

### 4. PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN

- ¿Existe relación entre el manejo forestal (podas) y el crecimiento producción y productividad en plantaciones de *P. patula*, implementadas a diferentes pisos altitudinales?
- ¿Existe relación entre la variables de temperatura, precipitación, topográficas (pendiente) y edáficas asociadas a la altitud con el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de *Pinus patula* manejadas y no manejadas, en las provincias de Azuay y Cañar?



## 5. REVISIÓN DE LITERATURA

### 5.1. Historia de las plantaciones de *P. patula* en el Ecuador, provincias de Azuay y Cañar

La fundación holandesa Forest Absorbing Carbon Dioxide Emissions (FACE, por sus siglas en inglés) o Bosques para la Absorción de Emisiones de Dióxido de Carbono, se creó en 1990 por el Directorio de Empresas Holandesas generadoras de electricidad con el objetivo inicial de establecer 150 000 has de plantaciones forestales. También fue su objetivo compensar las emisiones resultantes de una nueva planta térmica de carbón que se construyó en Holanda. Esta construcción representaría en ese entonces millones de toneladas de Dióxido de Carbono emitidas a la atmósfera. Por razones de costos su acción se orientó al establecimiento de proyectos de forestación en países en desarrollo como Ecuador (Granda 2005). De esta manera se realizó convenios con agricultores, asociaciones y comunidades para implementar plantaciones de pino en zonas andinas, beneficiándose los propietarios con el aprovechamiento u cosecha de la madera en un futuro (Hofstede y Lips 1998).

La especie *P. patula* fue utilizada para implementar plantaciones forestales, ya que tiene un alto rango de distribución altitudinal para su óptimo crecimiento que va desde 2600 msnm hasta los 3700 msnm (Aichholzer y Durán 2010). En Ecuador, no se pueden implementar plantaciones forestales en ecosistemas frágiles, como los páramos, debido a normativas legales (MAE-MAGAP 2012). Esto se lo ha dispuesto desde hace algunos años cuando se propuso la Ley para el Desarrollo Forestal Sustentable donde se expresó no implementar nuevas plantaciones forestales industriales en zonas exclusivas de páramo sobre los 3 500 msnm en el norte y centro, y sobre los 3 000 msnm en el sur del país (Medina 2000). Sin embargo en estas mismas altitudes se puede implementar plantaciones forestales siempre y cuando los sitios sean considerados como zonas degradadas, matorrales, cultivos abandonados y plantaciones aprovechadas y que no sean considerados estructural ni funcionalmente como páramos (MAE-MAGAP 2012).



## 5.2. Distribución y descripción taxonómica de *P. patula*

El *P. patula* es una especie arbórea leñosa originaria del hemisferio norte. Se distribuye en forma natural en el Centro y Sur de México y Sur Oeste de Estados Unidos, de los 18° a 20° de latitud norte (Gutierrez y Flores 2010). Para el Ecuador es una especie exótica que ha sido utilizada en muchos programas de reforestación. Taxonómicamente pertenece al Reino: Plantae; Subreino: Spermatophyta; División: Phynophyta; Subdivision: Gymnospermae; Orden: Coniferales; Familia: Pinaceae; Género: *Pinus*; Epiteto: *pátula* (Dvorak *et al.* 2000).

## 5.3. Relación entre altitud con el crecimiento, producción y productividad de *P. Patula*

El rango altitudinal óptimo de establecimiento de *P. patula* en el Ecuador va desde los 1.800 hasta los 3200 msnm (Restrepo 2011). Por otra parte Castillo (1998) para México recomienda sitios entre 2000 a 2800 msnm de altitud. En un estudio realizado por Wesenbeeck (2003) en los andes colombianos demostró que en altitudes superiores a los 3200 msnm las plantaciones forestales empiezan a tener serios problemas en el crecimiento y productividad debido a los cambios edáficos y climáticos pues se reporta menores valores frente a sitios de menor altitud. En Ecuador se han reportado plantaciones a altitudes de 2500 msnm a 4000 msnm (Restrepo 2011). Según Hofstede y Ordoñez (2004) esta especie no alcanza mayor crecimiento por encima de 3500 msnm. En estudios realizados en Pichincha a 3700 msnm el Incremento Medio Anual (IMA) de volumen total alcanzó 4,25 m<sup>3</sup>/ha/año. En Cotopaxi en el sector de Baños a 3472 msnm se obtuvo un IMA-volumen total de 11,39 m<sup>3</sup>/ha/año. En un estudio realizado por Camarillo. L (2013) en Oxaca-Mexico en plantaciones de *P. patula* en altitudes que varían de 2450 a 3200 msnm indica que cada 50 m de diferencia altitudinal hay una variación significativa entre crecimiento y productividad.

En un estudio realizado por Ramirez (1999) en México evaluó el Incremento Medio Anual en altura (IMA-altura) en *P. patula*, en zonas diferenciadas por la altitud y edades de 20 años. Al final del estudio concluyó que los mayores



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

valores se registran en las zonas más bajas con mayores temperaturas con un IMA-altura de 2,15 m/año (Tabla 1).

**Tabla 1.** Según Ramirez (1999) en México – Oxaca evaluo el Promedio  $\pm$  Desviación estándar (DE) por procedencia de las variables de crecimiento expresado en el IMA-altura en plantaciones de *P. patula* implementadas en diferentes rangos altitudinales

Procedencias	IMA-altura (m/año)	Altitud (msnm)
Pinal de Almoles, Qro.	2,03 $\pm$ 0,41	2400
Encarnacion, Hgo.	1,81 $\pm$ 0,44	2400
Zacualtipan, Hgo.	1,98 $\pm$ 0,48	2220
Tlahuelompan, Ver.	2,15 $\pm$ 0,52	2020
Huayacocotla, Hgo.	1,97 $\pm$ 0,38	2030
Estacion Apulco, Hgo.	2,02 $\pm$ 0,59	2190
Acaxochitlan, Hgo.	1,87 $\pm$ 0,51	2290
Ahuazotepec, Pue.	1,83 $\pm$ 0,48	2460
Zacatlan (Norte), Pue.	2,03 $\pm$ 0,41	2000
Zacatlan, Pue.	1,74 $\pm$ 0,43	2360
Tlaxco, Tlax.	1,65 $\pm$ 0,54	2800

En Ecuador se ha registrado que el factor importante que influye en altura, diámetro y volumen en *P. patula* es el rango altitudinal. En la provincia de Cotopaxi (Aglomerados Cotopaxi), en una plantación de 17 años que se encuentra a 3200 msnm que registró un IMA-altura de 1,53 m/año, IMA-DAP (diámetro a la altura de 1,3 m) de 2,04 cm/año y un IMA-Volumen total de 15,53 m<sup>3</sup>/ha/año, con relación a la plantación de 16 años que se encuentra a 3500 msnm donde existe un menor IMA - altura de 0,83 m/año, IMA-DAP de 1,23 cm/año y un IMA-Volumen total de 12,31 m<sup>3</sup>/ha/año (Paguanquiza 2012) (Tabla 2). En un estudio realizado por Hofstede y Ordoñez (2004) en Azuay, Cotopaxi, Pichicha, Ecuador registró valores para *P. patula* respecto al IMA-altura de 0,86 m/año en altitudes de 3500 msnm con y a 3800 msnm un IMA-altura de 0,46 m/año.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Tabla 2.** En las provincias de Cotopaxi – Ecuador, Paguanquiza (2012) evaluó el crecimiento, producción y productividad de *P. patula* en diferentes gradientes altitudinales.

Edad (Años)	Altitud (msnm)	Altura (m)	DAP (cm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	IMA- altura (m/año)	IMA-DAP (cm/año)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)
17	3200	14,99	25,32	39,14	256,88	0,88	1,49	14,11
16	3500	11,53	19,48	40,29	215,99	0,72	1,22	13,44

Según estos resultados se deduce que la altitud influye directamente sobre el crecimiento de las plantaciones de *P. patula*. Además la altitud está íntimamente relacionada con otra variable que condiciona el crecimiento de las plantas como es la temperatura, pues cada 100 metros de ascenso en altitud, la temperatura disminuye aproximadamente 0,6 °C (Stevens 1992). Esto afecta o beneficia directamente a la fisiología de algunas plantas como es el caso de *P. patula* (Restrepo 2011).

#### **5.4.Relación entre pendiente con el crecimiento, producción y productividad de *P. patula***

Según Cojom (2012) la pendiente ideal para el desarrollo adecuado de plantaciones de *P. patula* debe ser menor a 43%; esto debido a la influencia que se manifiesta en los factores edáficos a través de la capacidad de retención de agua y de la sensibilidad frente a la erosión (Serrada 2008). También influye en relación con la cantidad de radiación recibida aumentada o disminuida según la exposición de las plantaciones (Serrada 2008).

Según Serrada (2008) la forma de la ladera influye directamente en el desarrollo y crecimiento de *P. patula*, estas puede tener forma cóncava, recta o convexa y así que en las laderas cóncavas habrá mayor profundidad de suelo y más humedad al predominar el depósito producto de la erosión. Al contrario en las pendientes convexas donde abra mayor facilidad de escorrentía por ende mayor erosión y suelos más pedregosos con menor capacidad de retención de agua, por lo que le corresponderá una vegetación más xerófila o de menor espesura.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la región sur entre Loja y Zamora, en una plantación implementada en fuertes pendientes de 35 a 44 % mostró diferentes valores respecto al crecimiento de los árboles entre sitios. Los sitios que se encontraban con pendientes de 35 % fueron cubiertos por árboles de 7 a 17 m de altura y un DAP de aproximadamente 10 a 15 cm. En sitios con pendiente del 44 % registró árboles mucho más pequeños de 2 a 7 m de altura y con DAP de 2,8 cm. Breckle. U (2005) recomienda que la silvicultura en condiciones de pendientes pronunciadas no se debe realizar debido a la erosión hídrica arrastra los materiales finos y produce la fácil lixiviación de los cationes haciendo que los suelos se vuelvan muy pobres.

### **5.5. Influencia de la temperatura y precipitación en el crecimiento, producción y productividad de *P. patula***

La temperatura media anual óptima para el desarrollo de *P. patula* es de 10 a 19°C (Schawe 2003). Según Garcia (2011) la temperatura ideal para el óptimo de la especie es de 12 °C a 18 °C. Los promedios medios anuales mayores a 26°C no permiten un desarrollo adecuado de *P. patula* y sus crecimientos son bajos (Restrepo 2011). Según Serrada (2008) y Aichholzer y Durán (2010) la temperatura estacional depende fundamentalmente de la altitud y latitud, por lo tanto estos dos parámetros definen la distribución de las especies y agrupaciones forestales.

Fisiológicamente para *P. patula* existe un umbral inferior de temperatura con un rango de 6 °C y 7,5 °C donde la planta se vuelve sensible, cierra sus estomas disminuyendo o paralizando la fotosíntesis; este fenómeno provoca en ciertas ocasiones la destrucción de las células (Serrada 2008, Turnbull *et al.* 1998). Es así que no es posible establecer plantaciones en sitios donde los meses más cálidos registran temperaturas inferiores a 10 °C, por ejemplo en los andes del sur del Ecuador a 3500 msnm se marcan temperaturas medias de 7° C donde las plantas tienen complicaciones para su crecimiento (Aichholzer y Durán 2010).

Según Paguanquiza (2012) en un estudio realizado en Cotopaxi, el rendimiento *P. Patula* dentro de rangos de 6 a 18 °C de temperatura a 3200 msnm es



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

mayor que en sitios con rangos de 4 a 16 °C a 3500 msnm. En los sitios con mayores valores en temperatura se registró una producción en volumen total de 256,88 m<sup>3</sup>/ha, y en los de menor temperatura registro un volumen total 215,99 m<sup>3</sup>/ha.

Respecto a la precipitación, *P. patula* en sus sitios de origen se desarrolla bajo condiciones de clima templado húmedo o sub-húmedo, con precipitaciones de 400 mm en el mes más seco, un promedio anual entre 1000 mm y 2000 mm (Restrepo 2011). Según Restrepo (2011) las precipitaciones que requiere *P. patula* son en promedios anuales de 1200 mm, una mínima de 1000-600 mm y una máxima de 1500-2500 mm. Es muy importante la disponibilidad de agua en el suelo ya que las plantas están constituidos por este elemento en proporción de alcance al 80%. Además el agua es disolvente principal para los nutrientes (Jackson *et al.* 2000, Serrada 2008), su déficit baja la disponibilidad de boro en el suelo (Schawe 2003).

### **5.6. Influencia del suelo en el crecimiento, producción y productividad de *P. patula***

El 95% de la biomasa vegetal está formado por carbono (C), oxígeno (O) e hidrógeno (H) que son elementos abundantes en la naturaleza en forma de bióxido de carbono y agua. El resto comprende una lista de elementos esenciales: nitrógeno (N), fósforo (P), Azufre (S), Potasio (K), Calcio (Ca.), Magnesio (Mg.) y cantidades insignificantes de manganeso (Mn.), hierro (Fe), cloro (Cl.), cobre (Cu), Zinc (Zn.) y en algunos casos boro (B) y molibdeno (Mo.) (Binkley *et al.* 1993).

*P. patula* es considerada una especie rústica ya que puede adaptarse sin dificultades a condiciones extremas de acidez en el suelo (Valbuena-Carabaña *et al.* 2010), y puede desarrollarse en suelos con pH entre 5,0 y 5,5; en algunos casos puede adaptarse desde 4 o 4.5 hasta 6 de pH (Garcia 2011). En los Andes del sur del Ecuador a una altitud mayor a los 3200 msnm el pH varía entre 4 a 6, escenario donde se encuentran las plantaciones de *P. patula* (Hofstede y Lips 1998). Los suelos deben ser ricos en materia orgánica > 8% y nitrógeno 1,29 % en los primeros horizontes (Merino y Rey 2003).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

La cantidad de Fosforo (P) en altitudes de 3200 msnm es deficiente y limita el desarrollo de *P. patula*. Esto se debe al pH ácido que presentan estos suelos lo que ocasiona que el P se insolubilice (Buytaert y Céleri 2006). El contenido de materia orgánica mayor al 8%, garantiza que las concentraciones de Calcio ( $\text{Ca}^{++}$ ), Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$ ), Fósforo (P) intercambiable y Nitrógeno total no sean deficientes en el suelo (Farley y Kelly 2004, Restrepo 2011). En la (Tabla 3), según algunos autores se indica el requerimiento nutricional para *P. patula*.

El Ca estimula el desarrollo de las raíces, hojas y forma compuestos de las paredes celulares, influye indirectamente en el rendimiento al reducir la acidez en el suelo, esto reduce la solubilidad y toxicidad del Mn, Cu, Al y permite la correcta asimilación de los nutrientes como el P y micronutrientes como el B, Mn, Fe, Cu, Zn (Bernier 2000). El K cumple un rol importante en la activación enzimática, regula el balance de agua y favorece al crecimiento vegetativo y meristemático; también tiene la capacidad de aumentar la resistencia de la planta a las enfermedades, sequía y al frío (Bernier 2000). La disponibilidad del Cu decrece a medida que el pH se incrementa a valores iguales o más altos que 7. Se constituye un elemento importante en la formación de la clorofila, es tan indispensable para el crecimiento de las plantas y completan su ciclo de vida produciendo semillas viables (Alvarez y Velázquez 2012). El Magnesio (Mg) es un nutriente esencial para el desarrollo de las plantas constituye el núcleo de la molécula de clorofila, dando pigmento de las hojas que necesita para realizar la fotosíntesis y fomenta la absorción y transporte de P dentro de la planta (Alvarez y Velázquez 2012).

**Tabla 3.** Requerimientos edáficos nutricionales para *Pinus patula*

Localidad	pH	MO (%)	N (%)	P (ppm)	K (cmol/Kg)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Mn (ppm)	Redimientos	Autor
“Hacienda San Joaquín de Aglomerados - Cotopaxi”	4,5 - 5,5	10	5	5	0,11	5 - 10	0,50	20	IMA-DAP 1,69 cm/ha/año, IMA-altura 1,13 m/ha/año	Paguanquiza. P (2012)
	5	10	1,6	4	0,13	10	0,67	20		Bernier (2000)



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Gutierrez y Flores (2010) menciona que *P. patula* registra valores en productividad de 15 a 25 m<sup>3</sup>/ha/año (IMA-Volumen total m<sup>3</sup>/ha/año), aunque en sitios adecuados alcanza hasta 35 m<sup>3</sup>/ha/año y se mantiene con un promedio de 20 m<sup>3</sup>/ha/año. En suelos de baja calidad con pH ácidos y déficit de nutrientes puede presentar un IMA-Volumen total 10 m<sup>3</sup>/ha/año. Según Hofstede y Ordoñez (2004) para reforestación uno de los factores físicos más importantes es la profundidad del suelo >50 cm, contenido de distintos minerales y de materia orgánica > al 4%.

Herrera (2003) explica la función de los nutrientes tanto de: N, K, Ca, Mg, S, B, Cu, Cl, Fe, Mn, Mo y Zn en plantaciones de *P. patula*, en condiciones naturales apropiadas para el desarrollo de la planta. Todos los elementos nutricionales cumplen un papel importante para el óptimo desarrollo; de estos se indican los síntomas de deficiencia en el caso de que las plantas se encuentren en sitios no adecuados y sus niveles máximos y mínimos como óptimos para el crecimiento de *P. patula* (Tabla 4).

**Tabla 4.** Funciones de los nutrientes, síntomas de deficiencia y niveles máximos y mínimos Herrera (2003) para el crecimiento de *P. Patula*.

Nutriente	Función de nutrientes en las plantaciones o plantas de pino.	Síntomas de deficiencia	Nivel mínimo*	Nivel máximo*
<b>Nitrógeno ( % )</b>	Estimula el crecimiento rápido; favorece la síntesis de clorofila, de aminoácidos y proteínas.	Crecimiento atrofiado; color amarillo en las hojas inferiores; tronco débil; color verde claro.	0 - 0,15	> 0,31
<b>Potasio (cmol/kg)</b>	Se ha constatado que un buen suministro de K aumenta la resistencia del árbol a varios patógenos y que aumenta la resistencia del árbol a bajas temperaturas.	Oscurecimiento del margen de los bordes de las acículas inferiores; ramas débiles.	< 0,2	> 0,4
<b>Calcio (cmol/kg)</b>	Constituyente de las paredes celulares; colabora en la división celular.	Acículas terminales deformadas o muertas; color verde claro.	< 1,0	> 3,0



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

<b>Magnesio (cmol/kg)</b>	Componente de la clorofila, de las enzimas y de las vitaminas; colabora en la incorporación de nutrientes.	Amarilleo entre los nervios de las acículas (clorosis).	0 - 5,0	> 16,0
<b>Azufre (mg/kg)</b>	Esencial para la formación de aminoácidos y vitaminas; aporta el color verde a las acículas.	Acículas superiores amarillas, crecimiento atrofiado.	3 – 6	12 - 15
<b>Boro (B) (ppm)</b>	Importante en la floración, formación de frutos y división celular.	Yemas terminales muertas; hojas superiores quebradizas con plegamiento.	0,2 - 0,5	> 1,5
<b>Cobre (ppm)</b>	Componente de las enzimas; colabora en la síntesis de clorofila y en la respiración.	Yemas terminales y hojas muertas; color verdeazulado.	0 - 1,0	> 4,1
<b>Hierro ( ppm)</b>	Catalizador en la formación de clorofila; componente de las enzimas.	Clorosis entre los nervios de las acículas superiores.	0 - 20,0	> 41,0
<b>Manganeso (ppm)</b>	Participa en la síntesis de clorofila.	Color verde oscuro en los nervios de las acículas; clorosis entre los nervios.	< 0,33	> 0,66
<b>Zinc (Zn ppm)</b>	Esencial para la formación de auxina.	Clorosis entre los nervios de las acículas superiores.	0 - 3,0	> 6,1

\* Niveles sugeridos por Agrocalidad emitidos en los resultados de laboratorio.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

### **5.7. Las Podas y su influencia con el crecimiento, producción y productividad de *P. patula***

Esta operación *P. patula* no incrementa el desarrollo del árbol (ni en altura ni en diámetro) en especial en los primeros años, pero permite obtener un tronco recto y sin nudos para obtener madera de mejor calidad a ser utilizados en muebles o tablillas (Neilsen y Pinkard 2003, Soto 2007). Aplicar la poda a edades tempranas (3-4 años) trae muchos beneficios como la disminución de nudos y por ende mayor probabilidad de aceptación en mercados exigentes. También son importantes para evitar la formación de bifurcaciones, reduciendo la cantidad de madera de compresión e incrementar la cantidad de madera madura o de aserrío (Restrepo 2011).

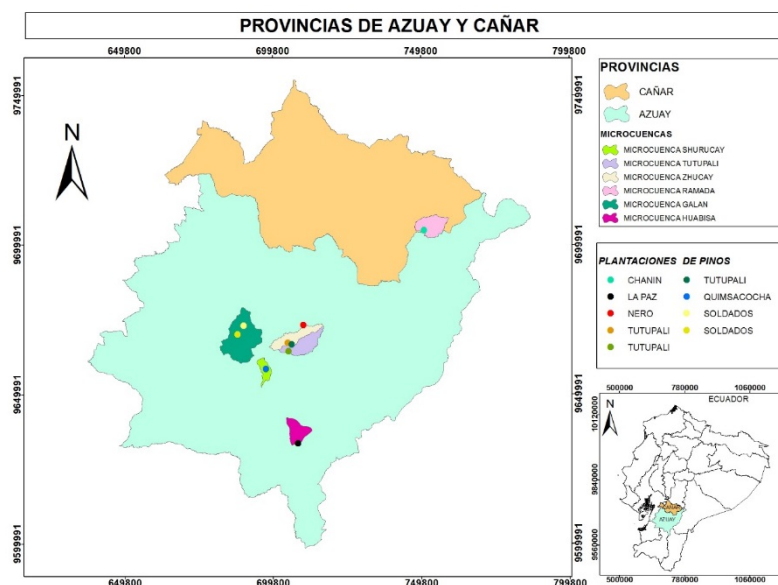
En un estudio realizado por Paguanquiza (2012) en San Joaquín Cotopaxi a 3300 msnm, en una plantación de *P. patula*, de 17 años de edad, baja densidad de 767 árboles/ha, se registró en la variable de altura bajos coeficientes de variación con valores entre 11,80% - 18,74%, y en diámetros de 11,99% a 27,88%. Esto ha permitido un crecimiento homogéneo en relación a plantaciones sin manejo donde los coeficientes de variación en estas mismas variables son heterogéneos, registrando valores en altura de 24,05% a 39,52% y en diámetro 42,99% a 47,92%.

Según (McKay 1997) la poda promueve el crecimiento del tallo de los pinos, sin embargo la severidad de esta labor silvícola disminuye la respuesta y las tasas máximas de reacciones bioquímicas involucradas en la fotosíntesis. Otros factores que influyen en el crecimiento de los árboles en el momento de la poda incluyen el espaciamiento, dominio del árbol, el momento de la poda (al igual que con el cierre del dosel), condiciones del sitio, distribución de hojas, tamaño del árbol, la edad y el vigor (Lorraine 2005, Pinkard y Beadle 2000).

## 6. MATERIALES Y MÉTODOS

### 6.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicada en las provincias de Azuay y Cañar. La zona donde se encuentran las plantaciones o sitios de investigación tienen una superficie aproximada de 1 733,7 has dentro de los cantones Cuenca, Girón y Nabón de la provincia del Azuay, y en el cantón Azogues en la Provincia del Cañar. (Figura 2)



**Figura 1.** Mapa de ubicación del área de investigación en las provincias de Azuay y Cañar.

Según el MAE (2012) el área de estudio corresponden a los ecosistemas Bosque siempreverde montano alto y Bosque montano alto superior de páramo. Poseen temperaturas entre 7 °C – 25 °C y una precipitación media anual de 1000 a 2000 mm. Se encuentran sobre rocas metamórficas indiferenciadas. Taxonómicamente los suelos son Inceptisoles de textura franco arcilloso, franco arcillo limoso, con drenaje moderado y pequeños parches de suelos franco (mal drenado). Debido a alteraciones antropogénicas en ocasiones estos ecosistemas quedan aislados en zonas de pendientes fuertes rodeadas por páramo herbáceo (MAE, 2012).





UNIVERSIDAD DE CUENCA

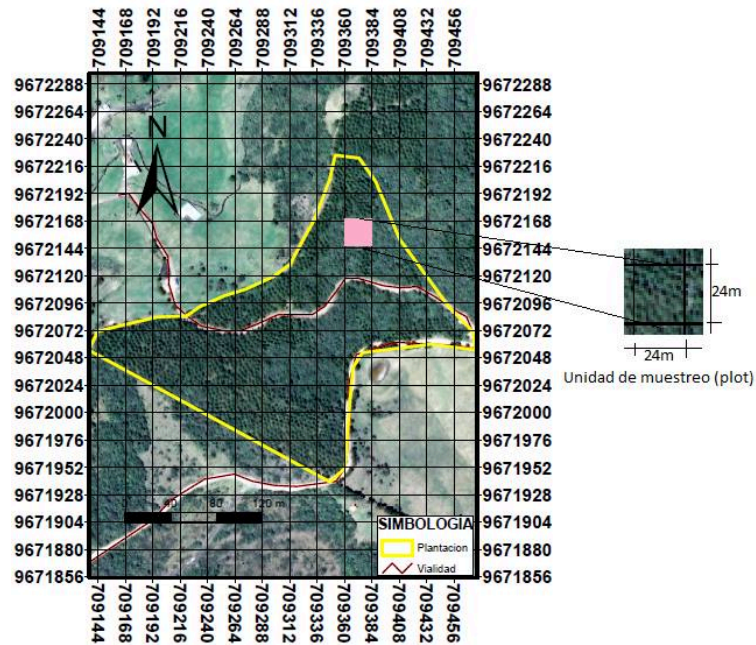
## **6.2 Metodología para determinar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de *P. patula* manejadas y no manejadas en diferentes pisos altitudinales**

### **6.2.1 Selección de los sitios de muestreo**

Inicialmente se utilizó cartografía base y fotografías aéreas a color de la zona de estudio proporcionadas por el Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP). Se seleccionaron nueve plantaciones forestales aplicando los siguientes criterios: 1) acceso; 2) altitud (3200 a 3700 msnm); 3) topografía (con pendientes entre 15 y 30 %); 4) prácticas silviculturales con y sin manejo (con y sin poda) y; 5) edad de las plantaciones (promedio de edad de las plantaciones esta entre 16 años). Estas plantaciones están ubicadas en tres pisos altitudinales (tres en cada piso) dentro de fincas y territorios comunales. En cada plantación se instaló 5 parcelas empleando ángulos reales con un total de 30 parcelas.

Para ubicar las parcelas se delimitó el área de las plantaciones empleando técnicas de fotointerpretación llegando a obtener un mapa base (Anexo 1). En cada mapa base se trazó una cuadrícula con secciones o parcelas de 24 m x 24 m. Estas fueron seleccionadas al azar dentro de la cuadrícula y posteriormente ubicadas en el campo en recorridos *in situ* utilizando el Sistema de Posicionamiento Geográfico GPS (Figura 2). El total de parcelas en cada piso altitudinal con o sin manejo se muestran en el (Anexo 2).

## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 2.** Esquema de selección de las plantaciones con criterios de manejo y sin manejo forestal.

En cada parcela instalada se midieron las siguientes variables dasométricas bajo un procedimiento previamente establecido en una hoja de campo (Anexo 3): Diámetro a la Altura del Pecho o a 1,3 m sobre el nivel del suelo (DAP) utilizando la cinta diamétrica y altura total del fuste con el instrumento de medición denominado Vertex. Se verificó la existencia de podas en los árboles inmersos dentro de la parcela.

Las variables de crecimiento corresponden a la altura del árbol, el DAP, el índice de sitio y el incremento medio anual (IMA) tanto en DAP y altura. Las variables de producción corresponden al área basal y el volumen por unidad de superficie, y las de productividad a través los incrementos medios anuales (IMA) tanto en área basal como en volumen. Para calcular el volumen se utilizó el factor de forma de 0,5 y las siguientes ecuaciones propuestas por Cansino (2002) y FAO (1990) (Tabla 5); los valores de las variables de producción y productividad fueron proyectados a ha. Los cálculos se encuentran en el (Anexo 4).



**Tabla 5.** Fórmulas para el cálculo de las variables de crecimiento, producción y productividad.

Variable	Fórmula	Descripción
IS (m)	$IS = H \left[ \frac{e^{-B\overline{EO}}}{e^{-B\overline{E}}} \right]$	IS es una medición indirecta del crecimiento articulado a la productividad del sitio y se define como la altura de los árboles dominantes a una determinada edad, bajo las condiciones que presenta del mismo.  Se la determina calculando el promedio de 40 árboles dominantes en una ha.
IMA-DAP (cm)	$dap = dap_p / \text{años}$	Para calcular IMA-DAP se divide DAP promedio para el número de años de la plantación
IMA-altura (m)	$h = h_p / \text{años}$	Para calcular IMA-altura se divide altura promedio para el número de años de la plantación.
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	$G = \pi * d_i^2 / 40000$	G: área basal d: DAP
Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	$V = G * At, c * ff$	V: Volumen (m3) G: Área basal (m2) At,c: altura total o comercial del árbol
IMA- Área basal (m <sup>3</sup> /ha/año)	$G = \sum_{i=1}^c Gi / \text{años}$	Para calcular IMA- Área basal se divide Área basal para el número de años de la plantación.
IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	$V = \sum_{i=1}^c \frac{Vi}{n} / \text{años}$	Para calcular IMA-Volumen total se divide Volumen total para el número de años de la plantación.
Pendiente		Se utilizó clinómetro

### 6.3 Metodología para determinar la relación entre variables ambientales de precipitación, temperatura, topográficas y edáficas sobre el crecimiento y productividad en plantaciones de *P. patula* implementadas en diferentes pisos altitudinales

Las variables climáticas de temperatura y precipitación media anual se extrajeron de la base de datos mundial utilizando el programa ArcGis 10.2 y las coordenadas centrales de cada parcela. La base de datos mundial es conocida como WorldClim: estaciones meteorológicas globales. WorldClim informa datos por año y mes, y calcula medias mensuales, tiene datos para la precipitación (20 590 estaciones), la temperatura media (7280 estaciones), y la



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

temperatura mínima y máxima (4966 estaciones). Para la precipitación y la temperatura media tiene cobertura mundial (Anexo 5).

Para determinar las variables edáficas se realizó muestreo de suelos, tomando una muestra homogenizada compuesta de cuatro sub muestras en cada parcela, a dos profundidades 0 a 15 cm y 15 a 25 cm. Esto permitió evaluar el estado químico de los suelos y su relación con los escenarios de evaluación respecto a las variables de crecimiento, producción y productividad. Se evaluaron las siguientes variables químicas: pH, Materia orgánica % (MO), Nitrógeno % (N), Fosforo ppm (P), Potasio cmol/Kg (K), Calcio cmol/Kg (Ca) Magnesio cmol/Kg (Mg), Hierro ppm (Fe), Manganeseo ppm (Mn), Cobre ppm (Cu), Zinc ppm (Zn). Los análisis se realizaron en el laboratorio de Agrocalidad (Anexo 6).

## 7. ANALISIS ESTADISTICO

### 7.1 Análisis estadístico para estimar el crecimiento y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *P. patula* en diferentes pisos altitudinales en las provincias del Azuay y Cañar

El análisis estadístico se realizó con la aplicación del software estadístico InfoStat y su entorno de R (Di Rienzo *et al.* 2009). Se aplicó un diseño factorial con dos factores A y B, y sus respectivos niveles (Tabla 6). Mediante la combinación de los diferentes factores con sus respectivos niveles se obtuvo seis tratamientos, cada uno con cinco repeticiones (Tabla 7).

El modelo estadístico fue el siguiente:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + S_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

donde:

$Y_{ijk}$  = observaciones de las variables de crecimiento, producción y productividad



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

$\mu$  = promedio general de las variables de crecimiento, producción y productividad P<sub>tm</sub>

$\alpha_i$  = efecto del  $i$ -ésimo nivel del factor A

$\beta_j$  = efecto del  $j$ -ésimo nivel del factor B

$S_{ij}$  = efecto adicional (interacción) para la combinación de los niveles  $i$  del factor A y  $j$  del factor B.

$C_{ijk}$  = Término de error aleatorio supuestamente distribuido Normal con media cero y varianza constante.

**Tabla 6.** Factores y niveles empleados para evaluar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de pino.

Factor A	Niveles (A)	Factor B	Niveles (B)
<b>Pisos altitudinales</b>	3200 msnm	<b>Manejo forestal (podas)</b>	Con manejo (C)
	3500 msnm		Sin manejo (S)
	3700 msnm		

**Tabla 7.** Número de tratamientos, descripción y repeticiones para evaluar el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de pino.

Tratamientos	Descripción	Repeticiones
T1	3200-C	5
T2	3200-S	5
T3	3500-C	5
T4	3500-S	5
T5	3700-C	5
T6	3700-S	5

C: con manejo; S: sin manejo

Para responder confirmar y contrastar la primera pregunta de investigación articulada al primer objetivo específico se realizó comparaciones de medias de las variables evaluadas (crecimiento, producción y productividad) entre los seis tratamientos aplicando el análisis de varianza ANDEVA con la prueba LSD de Fisher ( $p < 0,05$ ).



## **7.2 Análisis estadístico para determinar la relación entre variables ambientales de precipitación, temperatura, topográficas y edáficas asociadas a diferentes pisos altitudinales, sobre el crecimiento, producción y productividad en plantaciones manejadas y no manejadas de *P. patula* en las provincias de Azuay y Cañar**

Para la segunda hipótesis considerando a los pisos altitudinales como factor que registra diferencias significativas, se realizó comparación de medias de las variables fisiográficas, ambientales y edáficas por cada piso altitudinal. También se realizó correlaciones de Pearson ( $p < 0,05$ ) entre las variables ambientales, fisiográficas y edáficas con las variables de crecimiento, producción y productividad considerando toda la gradiente altitudinal sin particional por el factor de manejo forestal. En los análisis de ANDEVA se comprobó supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas.

## **RESULTADOS**

### **7.3 Variables de crecimiento y su relación con la altitud y manejo forestal (tratamientos)**

Todas las variables de crecimiento registran diferencias significativas entre todos los tratamientos ( $p < 0,05$ ) presentando los mayores valores a 3200 msnm y los menores valores a 3700 msnm. Respecto al DAP los valores más altos se registran en el primer piso altitudinal independientemente del manejo y los más bajos en el piso de mayor altitud (Tabla 8 – Figura 3); similar patrón en los resultados muestra la altura. Respecto al índice de sitio (IS) muestra un patrón irregular diferente a las variables anteriores; aquí el mayor valor esta en los sitios más de menor altitud y no manejados, algo bastante explicativo respecto al tema de manejo y a la competencia intra-específica en las plantaciones. Los IMA presentan mayor homogeneidad de las variables en los diferentes tratamientos demostrado en los p-valores menos significativos con respecto a las variables de altura y diametro (Tabla 8 – Figura 3).



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Tabla 8.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo tratamientos en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

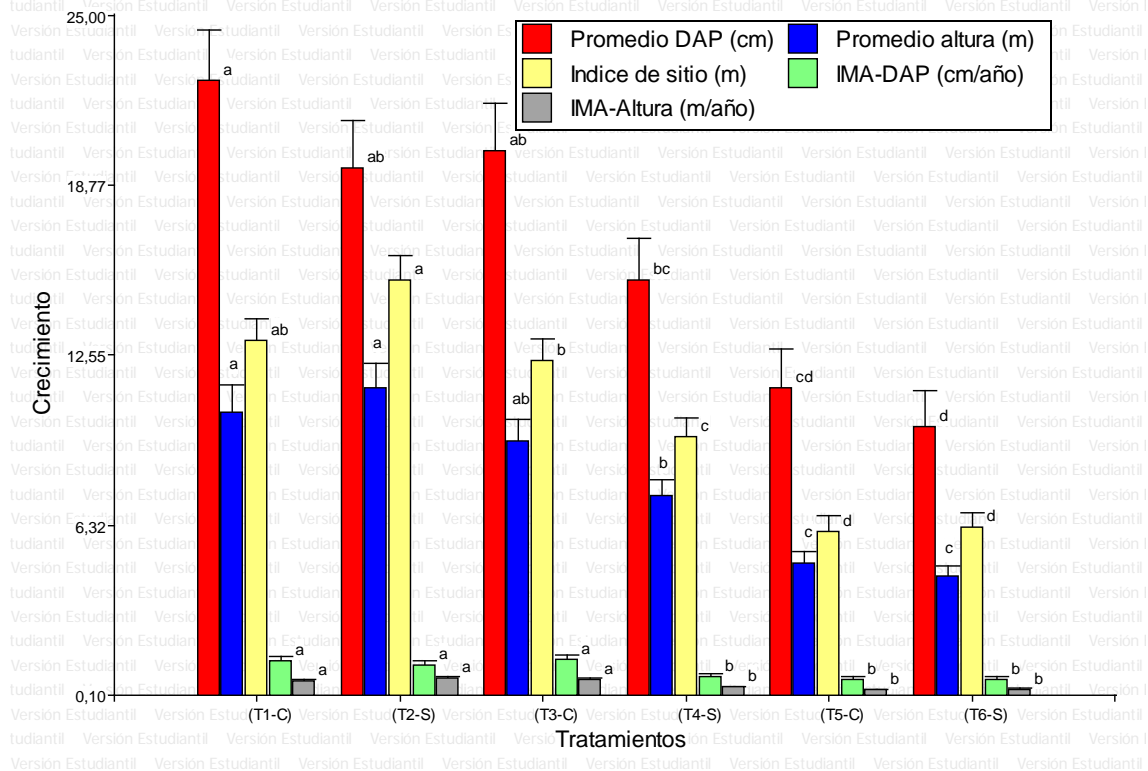
Variables	Tratamientos						P-valor
	3200-C (T1)	3200-S (T2)	3500-C (T3)	3500-S (T4)	3700-C (T5)	3700-S (T6)	
<b>DAP (cm)</b>	22,61 $\pm$ 1,84 a	19,43 $\pm$ 1,73 ab	20,06 $\pm$ 1,75 ab	15,29 $\pm$ 1,57 bc	11,39 $\pm$ 1,39 cd	9,94 $\pm$ 1,32 d	< 0,001
<b>Altura (m)</b>	10,48 $\pm$ 0,97 a	11,38 $\pm$ 0,89 a	9,44 $\pm$ 0,79 ab	7,40 $\pm$ 0,62 b	4,95 $\pm$ 0,40 c	4,48 $\pm$ 0,36 c	< 0,001
<b>IS (m)</b>	13,08 $\pm$ 0,82 ab	15,33 $\pm$ 0,88 a	12,35 $\pm$ 0,79 b	9,56 $\pm$ 0,70 c	6,11 $\pm$ 0,56 d	6,24 $\pm$ 0,57 d	< 0,001
<b>IMA-DAP (cm/año)</b>	1,36 $\pm$ 0,14 a	1,22 $\pm$ 0,13 a	1,42 $\pm$ 0,15 a	0,80 $\pm$ 0,10 b	0,70 $\pm$ 0,09 b	0,69 $\pm$ 0,09 b	0,001
<b>IMA- Altura (m/año)</b>	0,63 $\pm$ 0,06 a	0,71 $\pm$ 0,07 a	0,66 $\pm$ 0,07 a	0,39 $\pm$ 0,04 b	0,30 $\pm$ 0,03 b	0,31 $\pm$ 0,03 b	< 0,001

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha$  = 0,05; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. C: con manejo; S: Sin manejo forestal; T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 3.** Promedios (± error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo tratamientos en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos). Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes, C: con manejo; S: Sin manejo forestal.

#### 7.4 Variables de crecimiento en plantaciones de *P. patula* y su relación con pisos altitudinales

Respecto a las variables de crecimiento en relación con los pisos altitudinales presentaron diferencias significativas registrando los mayores valores a 3200 msnm y menores valores a 3700 msnm. El DAP, altura, índice de sitio (IS), incremento medio anual en DAP (IMA-DAP) y el incremento medio anual en altura (IMA-altura) presentaron mayores valores significativamente ( $p < 0,05$ ) en el piso altitudinal 3200 msnm a diferencia del piso altitudinal 3700 msnm que registró los menores valores (Tabla 9 – Figura 4).





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

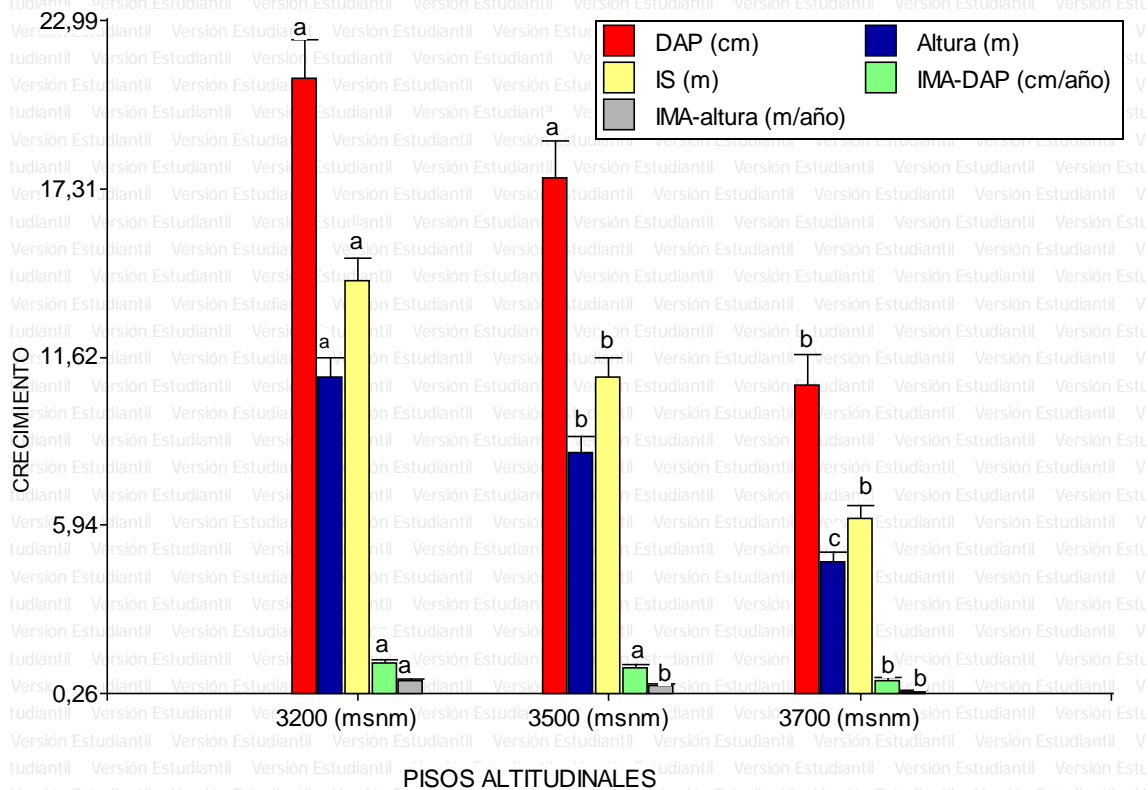
**Tabla 9.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variables de crecimiento	Pisos altitudinales			P - valor
	3200 (msnm)	3500 (msnm)	3700 (msnm)	
DAP (cm)	21,02 $\pm$ 1,33 a	17,67 $\pm$ 1,25 a	10,66 $\pm$ 1,06 b	< 0,001
Altura (m)	10,93 $\pm$ 0,69 a	8,42 $\pm$ 0,53 b	4,71 $\pm$ 0,3 c	< 0,001
IS (m)	14,21 $\pm$ 0,74 a	10,96 $\pm$ 0,61 b	6,18 $\pm$ 0,40 b	< 0,001
IMA-DAP (cm/año)	1,29 $\pm$ 0,11 a	1,11 $\pm$ 0,10 a	0,70 $\pm$ 0,08 b	0,0004
IMA-altura (m/año)	0,67 $\pm$ 0,06 a	0,53 $\pm$ 0,04 b	0,31 $\pm$ 0,03 b	< 0,001

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha$  = 0,05; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA



**Figura 4.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

### 7.5 Variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal - podas

Las variables de crecimiento respecto al manejo (podas) no presentan diferencias significativas. El DAP, altura, índice de sitio (IS), incremento medio anual en DAP (IMA-DAP) e incremento medio anual en altura (IMA-altura) en relación al manejo forestal (con y sin poda) no presentan diferencias significativas. Sin embargo existen mayores valores notables (no diferentes estadísticamente) en todas las variables de crecimiento en los sitios donde las plantaciones presentan manejo forestal (Tabla 10- Figura 5).

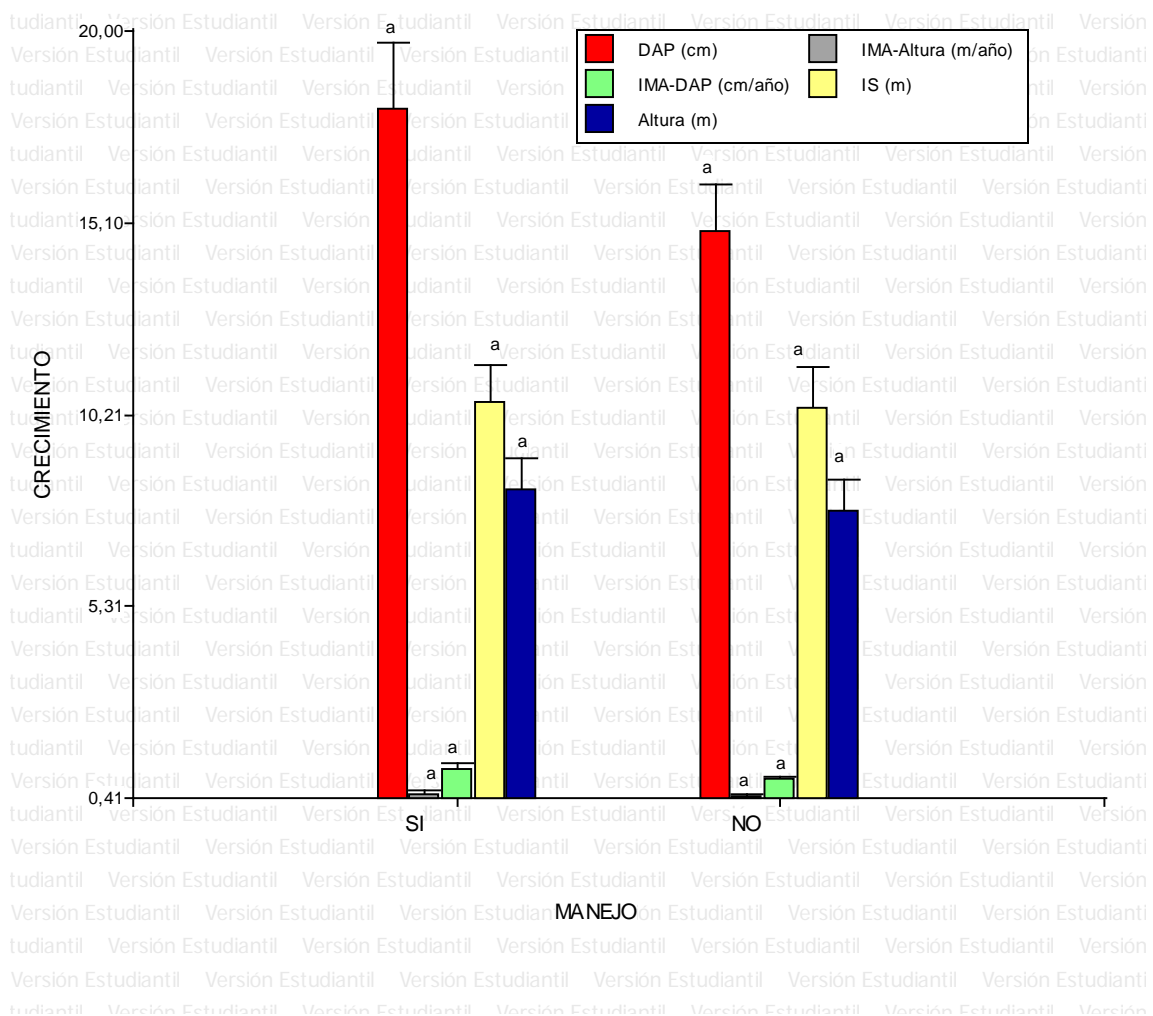


# UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Tabla 10.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variables de crecimiento	Manejo (podas)		P-valor
	Con poda	Sin poda	
DAP (cm)	18,02 $\pm$ 1,68 a	14,88 $\pm$ 1,18 a	0,138
Altura (m)	8,29 $\pm$ 0,79 a	7,75 $\pm$ 0,80 a	0,6358
IS (m)	10,52 $\pm$ 0,95 a	10,38 $\pm$ 1,05 a	0,9228
IMA-DAP (cm/año)	1,16 $\pm$ 0,12 a	0,90 $\pm$ 0,07 a	0,0779
IMA-Altura (m/año)	0,53 $\pm$ 0,06 a	0,47 $\pm$ 0,05 a	0,4085

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha$  = 0,05; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.





# UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Figura 5.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento y su relación con el manejo forestal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

## 7.6 Variables de producción y productividad y su relación con la altitud y manejo forestal (tratamientos)

Las variables de productividad en relación con la altitud presentan diferencias significativas registrando los mayores valores a 3200 msnm y menores valores a 3700 msnm. En las variables de productividad a 3200 msnm en relación al manejo forestal (con y sin manejo) (T1 – T2) son diferentes estadísticamente presentando los mayores valores en el sitio con manejo (T1). A 3500 msnm y 3700 msnm en relación con el manejo forestal (con y sin manejo) son diferentes estadísticamente presentando los mayores valores en todos los sitios con manejo (T3 – T5) (Tabla 11- Figura 6).

**Tabla 11.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo interacciones o tratamientos, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

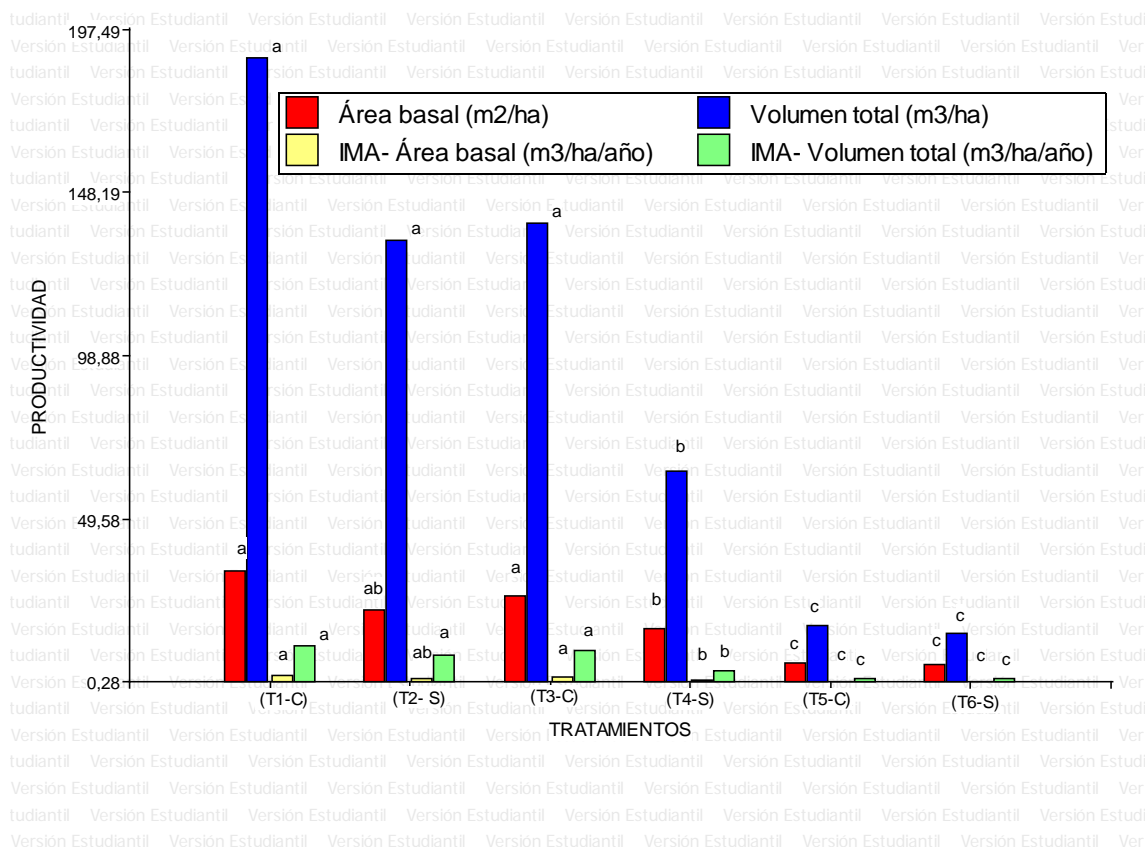
Variables	Tratamientos						P-valor
	3200-C (T1)	3200-S (T2)	3500-C (T3)	3500-S (T4)	3700-C (T5)	3700-S (T6)	
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	33,98 $\pm$ 5,15 a	21,80 $\pm$ 3,31 ab	26,36 $\pm$ 3,90 a	16,17 $\pm$ 2,70 b	5,90 $\pm$ 1,86 c	5,52 $\pm$ 1,83 c	< 0,001
Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	188,79 $\pm$ 41,84 a	134,02 $\pm$ 23,47 a	138,76 $\pm$ 24,67 a	63,93 $\pm$ 11,20 b	17,09 $\pm$ 6,83 c	14,80 $\pm$ 6,67 c	< 0,001
IMA- Área basal (m <sup>3</sup> /ha/año)	2,04 $\pm$ 0,34 a	1,36 $\pm$ 0,22 ab	1,86 $\pm$ 0,30 a	0,85 $\pm$ 0,16 b	0,36 $\pm$ 0,11 c	0,39 $\pm$ 0,12 c	< 0,001
IMA- Volumen	11,34 $\pm$ 2,63	8,38 $\pm$	9,73 $\pm$ 1,96	3,36 $\pm$ 0,62 b	1,04 $\pm$ 0,41	1,05 $\pm$ 0,41	< 0,001



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

total	a	1,54 a	a		c	c	
(m <sup>3</sup> /ha/año)							

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0,05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. C: con manejo; S: Sin manejo forestal; T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos).



**Figura 6.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de crecimiento evaluadas bajo interacciones o tratamientos, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. C: con manejo; S: Sin manejo forestal; T1, T2, T4, T5, T6 (Tratamientos).

### 7.7 Variables de producción, productividad y su relación con pisos altitudinales

Todos los valores promedios de las variables de producción y productividad presentaron diferencias significativas ( $p = 0,001$ ) entre los tres pisos altitudinales con los mayores valores para el piso altitudinal 3200 msnm y los menores valores a 3700 msnm (Tabla 12- Figura 7). Entre el piso 3200 msnm y el 3500 msnm no existen diferencias significativas pero si diferencias notables



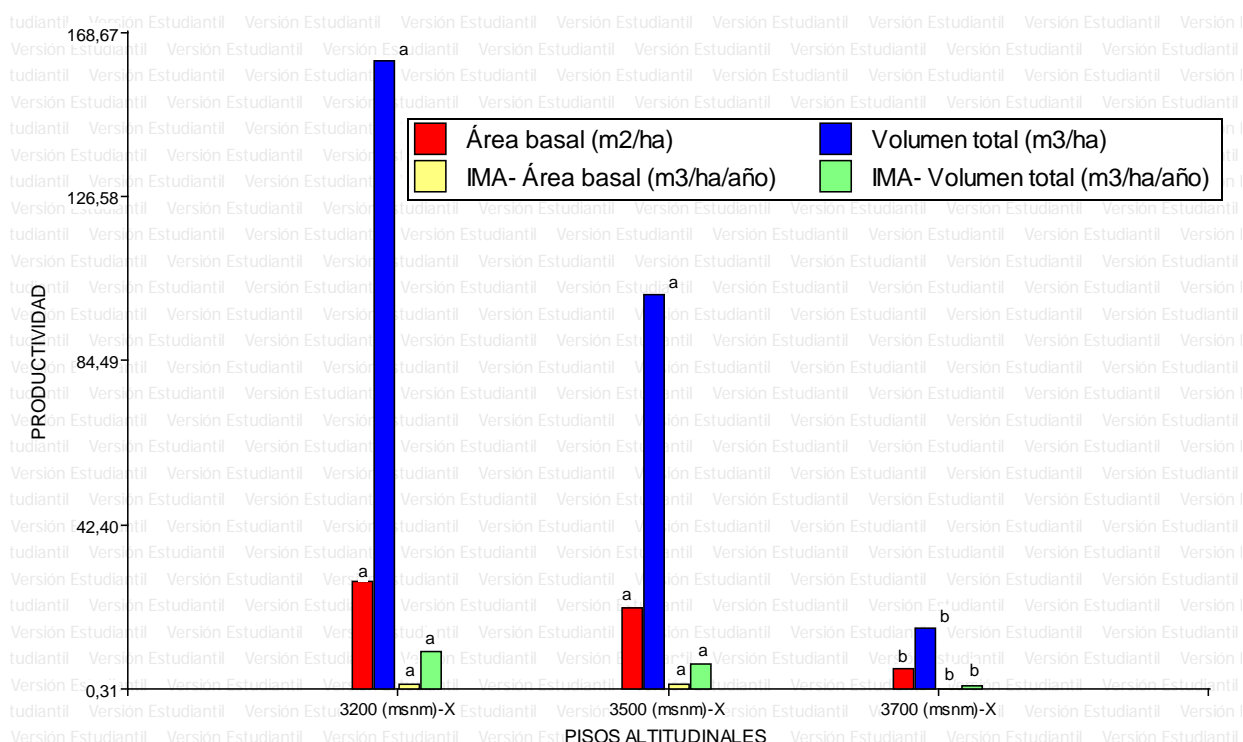
## UNIVERSIDAD DE CUENCA

con mayores valores para el piso de menor altitud. El piso altitudinal 3700 msnm difiere estadísticamente de los otros dos pisos altitudinales y registra los menores valores (Tabla 12-Figura 7).

**Tabla 12.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de productividad evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variables de productividad	Pisos Altitudinales			P-valor
	3200 (msnm)	3500 (msnm)	3700 (msnm)	
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	27,89 $\pm$ 3,68 a	21,27 $\pm$ 2,71 a	5,71 $\pm$ 1,32 b	< 0,001
Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	161,40 $\pm$ 24,73 a	101,34 $\pm$ 17,59 a	15,95 $\pm$ 4,54 b	< 0,001
IMA- Área basal (m <sup>3</sup> /ha/año)	1,70 $\pm$ 0,27 a	1,35 $\pm$ 0,20 a	0,38 $\pm$ 0,09 b	< 0,001
IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	9,86 $\pm$ 1,78 a	6,54 $\pm$ 1,28 a	1,05 $\pm$ 0,29 b	< 0,001

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha$  = 0,05; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.



**Figura 7.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de productividad evaluadas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.

### 7.8 Variables de producción y productividad en escenarios de manejo forestal

Los promedios de las variables de producción y productividad no presentan diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) respecto al manejo forestal. Sin embargo existen diferencias notables (no diferentes estadísticamente) con mayores valores en los sitios con manejo forestal (Tabla 13-Figura 8).

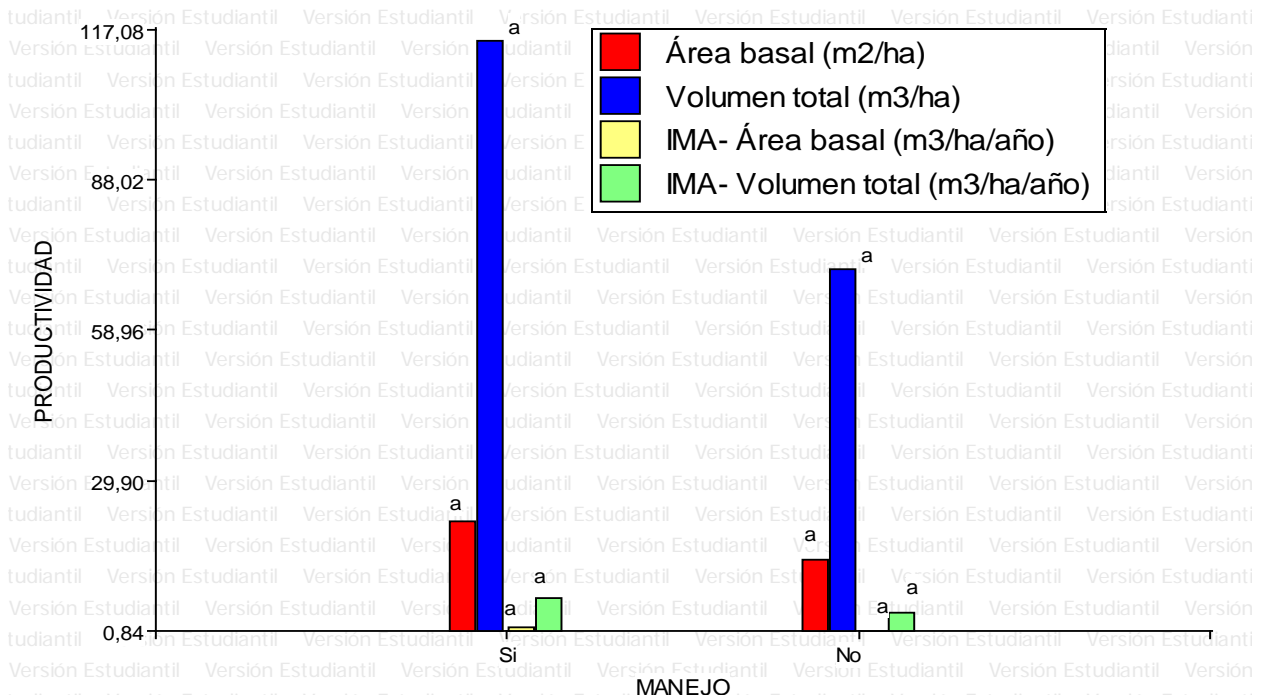
**Tabla 13.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de productividad en escenarios de manejo forestal, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Variables de productividad	Manejo (podas)		P-valor
	Si	No	
Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	22,08 ± 3,91 a	14,50 ± 2,15 a	0,1007
Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	114,88 ± 24,56 a	70,91 ± 15,12 a	0,1386
IMA- Área basal (m <sup>3</sup> /ha/año)	1,42 ± 0,26 a	0,87 ± 0,13 a	0,0644
IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	7,37 ± 1,60 a	4,26 ± 0,94 a	0,1049

ANDEVA Pr > Fisher  $\alpha = 0,05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.



**Figura 8.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables de productividad en escenarios de manejo forestal, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar. Letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes.





### 7.9 Variables ambientales, fisiográficas y edáficas y su relación con pisos altitudinales

Los promedios de las variables ambientales en relación con la altitud registraron diferencias significativas para precipitación con valores mayores a 3700 msnm, y valores similares estadísticamente a 3200 y 3500 msnm. Para temperatura existen diferencias significativas con valores mayores a 3200 msnm y menores a 3700msnm.

En las variables fisiográficas se registró diferencias significativas para la pendiente presentando valores mayores a 3500 msnm y valores iguales a 3200 y 3700 msnm. Para altitud existen diferencias significativas presentando valores menores a 3200 msnm y valores mayores a 3700 msnm. Esto nos demuestra que los pisos altitudinales están correctamente separados.

Los valores promedios de las variables edáficas comparados en los diferentes pisos altitudinales presentan diferencias significativas para el pH con valores menores a 3500 msnm y valores iguales estadísticamente a 3200 msnm y 3700 msnm. Para MO, N, P no registra diferencias significativas. Para K, Ca, Mg, Mn, Zn existen diferencias significativas con mayores valores a los 3700 msnm e iguales a los 3200 y 3500 msnm. Para Fe hay diferencias significativas presentando menores valores a los 3200 msnm e iguales valores estadísticamente a 3500 y 3700 msnm. Para Cu se registra diferencias significativas presentando valores menores a 3700 msnm y valores iguales estadísticamente a 3200 y 3500 msnm (Tabla 14).

**Tabla 14.** Promedios ( $\pm$  error estándar) de las variables ambientales, fisiográficas y edáficas en diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0.06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Variables Ambientales	Altitud			P-valor
	3200 msnm	3500 msnm	3700 msnm	
Precipitación (mm)	946,05 ± 32,83 a B	865 ± 17,72 a B	1066,14 ± 75,12 b B	0,0126
Temperatura °C	9,79 ± 0,10 a B	8,58 ± 0,13 b B	6,75 ± 0,18 c B	< 0,001
<b>Variables fisiográficas</b>				
Pendiente %	17,9 ± 2,87 a B	30,3 ± 3,54 b M	16,9 ± 2,82 a B	0,008
Altitud (msnm)	3310 ± 22,13 a A	3489,6 ± 15,49 b A	3733,5 ± 9,54 c A	< 0,001
<b>Variables edáficas</b>				
pH	4,32 ± 0,07 a B	4,09 ± 0,05 b B	4,28 ± 0,06 a B	0,0373
MO%	15,06 ± 2,83 a M	13,81 ± 1,52 a M	14,38 ± 2,02 a M	0,9239
N (%)	0,75 ± 0,14 a M	0,69 ± 0,08 M	0,72 ± 0,10 a M	0,9229
P (ppm)	3,50 ± 0,72 a B	3,50 ± 0,72 a B	5,16 ± 0,72 a B	0,1906
K (cmol/Kg)	0,17 ± 0,01 b B	0,16 ± 0,01 b B	0,38 ± 0,04 a B	0,001
Ca (cmol/Kg)	1,63 ± 0,09 b M	1,18 ± 0,05 c M	5,04 ± 0,97 a A	0,001
Mg (cmol/Kg)	0,58 ± 0,03 b M	0,53 ± 0,02 b M	1,01 ± 0,11 a M	0,0010
Fe (ppm)	604,05 ± 59,20 b A	769,72 ± 25,72 a A	642,30 ± 48,83 b A	0,0139
Mn (ppm)	11,89 ± 2,50 b A	7,67 ± 1,69 b A	26,63 ± 5,13 a A	0,0051
Cu (ppm)	10,89 ± 1,18 a A	11,98 ± 1,31 a A	5,70 ± 0,57 b A	0,001
Zn (ppm)	2,75 ± 0,40 ab M	2,24 ± 0,29 b M	4,11 ± 0,73 b M	0,0693

ANDEVA  $Pr > Fisher \alpha = 0,05$ ; letras diferentes significan que los valores son estadísticamente diferentes. A: alto; M: medio; B: bajo: Variables edáficas según criterio de Agro-calidad como parte de los resultados de laboratorio y las otras variables según el criterio (Castillo 1998, Restrepo 2011, Serrada 2008).

### 7.10 Correlaciones entre variables crecimiento con ambientales y fisiográficas en pisos altitudinales.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Considerando toda la gradiente altitudinal, la altitud con todas las variables de crecimiento se correlacionan significativamente y negativamente ( $p < 0,05$ ). Estas últimas se correlacionan positivamente con la temperatura (Tabla 15). No se correlacionan significativamente con la precipitación ni la pendiente.

**Tabla 15.** Análisis de correlación entre variables crecimiento con las variables ambientales en los diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable(1)	Variable(2)	n	r	P-valor
Altitud (msnm)	Altura (m)	30	-0,89	<0,0001
Altitud (msnm)	DAP (cm)	30	-0,76	<0,0001
Altitud (msnm)	IS (m)	30	-0,92	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,83	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,68	<0,0001
Temperatura °C	Altura (m)	30	0,82	<0,0001
Temperatura °C	DAP (cm)	30	0,7	<0,0001
Temperatura °C	IS (m)	30	0,85	<0,0001
Temperatura °C	IMA-Altura (m/año)	30	0,75	<0,0001
Temperatura °C	IMA-DAP (cm/año)	30	0,62	0,0003

### 7.11 Correlaciones de entre variables crecimiento con edáficas en pisos altitudinales.

Las variables edáficas de Potasio (K), Calcio (Ca) y Magnesio (Mg) se correlacionan significativa y negativamente ( $p < 0,05$ ) con todas las variables de crecimiento. El Cobre (Cu) se correlaciona positivamente (Tabla 16). Los valores de todas las correlaciones se muestran en el (Anexo 7).

**Tabla 16.** Análisis de correlación de entre variables crecimiento con las variables edáficas en los diferentes pisos altitudinales, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable (1)	Variable (2)	n	r	P-valor
K (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,59	0,0005
K (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,52	0,0034
K (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,67	0,0001
K (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,53	0,0025



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

K (cmol/Kg)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,45	0,0128
Ca (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,48	0,0076
Ca (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,37	0,0431
Ca (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,5	0,0044
Ca (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,39	0,0327
Mg (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,48	0,0079
Mg (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,38	0,0357
Mg (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,53	0,0027
Mg (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,4	0,0274
Cu (ppm)	Altura (m)	30	0,58	0,0009
Cu (ppm)	DAP (cm)	30	0,48	0,0067
Cu (ppm)	IS (m)	30	0,6	0,0004
Cu (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	0,5	0,0052
Cu (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	0,4	0,0287

### 7.12 Correlaciones entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en pisos altitudinales.

Las altitud se correlacionó significativa negativamente ( $p < 0,05$ ) y la temperatura positivamente con todas las variables de producción y productividad (Tabla 17). Las variables de precipitación y pendiente no se correlacionaron significativamente. Todas las correlaciones se muestran en el (Anexo 7).

**Tabla 17.** Correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable (1)	Variable (2)	n	r	p-valor
Altitud (msnm)	Área basal ( $m^2/ha$ )	30	-0,72	<0,0001
Altitud (msnm)	Volumen total ( $m^3/ha$ )	30	-0,76	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA- Volumen total ( $m^3/ha/año$ )	30	-0,74	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA- Área basal ( $m^2/ha/año$ )	30	-0,7	<0,0001
Temperatura °C	Área basal ( $m^2/ha$ )	30	0,72	<0,0001



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Temperatura °C	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,73	<0,0001
Temperatura °C	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,7	<0,0001
Temperatura °C	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,68	<0,0001

### 7.13 Correlaciones entre variables edáficas con las de producción y productividad, en pisos altitudinales.

El Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y Cobre se correlacionaron significativamente y negativamente con las variables de producción y productividad. Estas últimas se correlacionaron positiva y significativamente con el Cobre (Cu) (Tabla 18). Todas las correlaciones se muestran en el (Anexo 7).

**Tabla 18.** Correlaciones de Pearson entre variables edáficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable (1)	Variable (2)	n	r	p-valor
K (cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,58	0,0007
K (cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,54	0,0019
K (cmol/Kg)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,52	0,0029
K (cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,55	0,0015
Ca (cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,41	0,0236
Ca (cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,41	0,023
Ca (cmol/Kg)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,39	0,0318
Ca (cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,38	0,0402
Mg (cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,44	0,0149
Mg (cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,43	0,0164
Mg (cmol/Kg)	IMA- Volumen	30	-0,41	0,0233



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

	total (m <sup>3</sup> /ha/año)			
Mg (cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,41	0,0252
Cu (ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,42	0,0196
Cu (ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,46	0,0105
Cu (ppm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,42	0,0195
Cu (ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,39	0,0333

## 8. DISCUSIÓN

### 8.1 ¿Existe relación entre el manejo forestal (podas) sobre el crecimiento producción y productividad en plantaciones de *P. patula*, implementadas a diferentes pisos altitudinales?

Las diferencias significativas y no significativas en todas las variables de crecimiento se deben a la influencia directa de los factores evaluados. Considerando el manejo forestal como primer factor representado por las podas no presenta diferencias significativas; este resultado coincide con lo manifestado por Neilsen y Pinkard (2003) y Soto (2007) quienes manifiestan que las podas no influyen sobre el crecimiento en las plantaciones de *P. patula*, pero si en la calidad de la madera, parámetro que en esta ocasión no fue evaluado. La altitud como segundo factor presentó diferencias significativas cuyos mayores valores fueron registrados a menores altitudes lo que coincide con los resultados de Hosftede (2004), Restrepo (2011) y Camarillo (2013) quienes expresan que esta especie presenta mejor crecimiento y productividad en menores altitudes. Respecto al IMA - altura nuestros resultados muestran el patrón de mayores valores a menor altitud y son similares a los registrados a 3200 msnm en Cotopaxi por (Paguanquiza 2012) pero con valores inferiores a los registrados en IMA - DAP e IMA – volumen total, esto se debe a que en Cotopaxi las plantaciones son manejadas con raleos planificados, lo que permite disminuir la densidad de la plantación, disminuir la competencia por luz (lo que provoca el incremento en altura) y disminuir la competencia intra-



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

especifica que le permite a los árboles incrementar la biomasa aérea o grosor representado por el DAP (Paguanquiza 2012). El DAP es la variable dasométrica más importante para determinar el volumen en comparación con la altura.

En un estudio realizado por Montiel y Zamudio (2007) en Teziutlan – México en plantaciones con edades y condiciones ambientales similares a los sitios de nuestro estudio reportó mayores valores a una altitud de 2800 a 3200 msnm con un área basal de 27,59 m<sup>2</sup>/ha, volumen total de 162,7 m<sup>3</sup>/ha, IMA-volumen total de 14,39 m<sup>2</sup>/ha/año. *P. patula* es una especie nativa del hemisferio norte por lo que las condiciones edáficas y climáticas se articulan como las más idóneas para la producción de esta especie en su hábitat natural.

El IMA-volumen total obtenidos en nuestro estudio a 3200 msnm, son similares a los obtenidos en Cotopaxi por (Hofstede y Ordoñez 2004) a mayor altitud 3472 msnm, lo que hace deducir que en el centro del país existe mayor productividad a mayor altitud. Esto posiblemente esté ligado a la realidad existente en las plantaciones del centro del país donde se da intensamente las actividades de manejo forestal especialmente con entresacas o raleos influye directamente en la productividad.

### **8.2 ¿Existe relación entre la variables de temperatura, precipitación, topográficas (pendiente) y edáficas asociadas a la altitud con el crecimiento, producción y productividad en plantaciones de *Pinus patula* manejadas y no manejadas, en las provincias de Azuay y Cañar?**

Las variables de precipitación y pendiente no están correlacionadas con ninguna variable evaluada en toda la gradiente altitudinal, por lo que se asume que son totalmente independientes. Las variables evaluadas registran mayores valores en los sitios de menor altitud. Sin embargo se determinó que existen factores ambientales y edáficos ligados intrínsecamente a estas diferencias. En toda la gradiente altitudinal se determinó que la altitud y temperatura se correlacionan e influyen directamente (negativa y positivamente, respectivamente) con las variables de respuesta tanto en crecimiento,



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

producción y productividad. Esto obedece en primer lugar a la relación de correlación directa entre temperatura y altitud y validando lo enunciado por Stevens (1992). Por otro lado en estudios realizados en la región tropical se confirma que el umbral inferior de temperatura donde la planta inactiva la fotosíntesis está situado en un rango de 6 °C y 7,5 °C (Aichholzer. F, 2010; Serrada. R, 2008); por esta razón los menores resultados se registran en los sitios de mayor altitud donde los promedios de temperatura registran 6,75 °C.

Los macronutrientes como el Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg) y micronutriente como el Cobre (Cu) están correlacionado negativamente con las variables evaluadas. Así mismo todas estas variables edáficas están correlacionadas negativamente con la altitud. Antes de realizar un análisis de relación directa entre cada variable edáfica con las de producción y productividad es necesario analizar la relación con la altitud. Como argumento a este análisis están las fuertes diferencias significativas ( $p < 0,0001$ ) de estas variables edáficas comparadas entre los tres pisos altitudinales con los mayores valores en los sitios de mayor altitud. Esto hace deducir claramente que en los sitios donde existe mayor altitud van a contener mayor cantidad en estos elementos edáficos que posiblemente no estén disponibles para las plantas por factores ambientales edáficos.

El Calcio (Ca), el Potasio (K) y el Magnesio se correlacionan negativamente con las variables de crecimiento y productividad. Estos elementos bajo condiciones ambientales de los sitios con mayor altitud no están disponibles en el suelo para ser absorbido por las plantas de *P. patula* debido a que sus iones de mineralizan como consecuencia de la acidificación de los suelos. Este fenómeno es influenciado por la gran cantidad de materia orgánica, altas precipitaciones y bajas temperaturas (Serrada 2008). Según Herrera (2003) estos elementos químicos son macronutriente que permite la división celular que provoca el crecimiento e incremento en biomasa, lo cual no es posible en estas condiciones, por lo que se registra los menores valores en las variables de crecimiento y productividad evaluadas.

Debido a la pérdida de cationes básicos (mineralización) como los del Ca, los suelos se acidifican incrementado los cationes ácidos como los del cobre





#### UNIVERSIDAD DE CUENCA

(Bernier 2000). Es por esta razón que este elemento está presente de manera directa en todos los pisos altitudinales, correlacionado positivamente con las variables evaluadas.



## 9. CONCLUSIONES

Los mayores valores en las variables de crecimiento, producción y productividad en *P. patula* en la región andina sur se registran en el piso altitudinal 3200 donde las condiciones ambientales, edáficas parecen ser mejores en comparación con las altitudes superiores (3500 y 3700 msnm).

El manejo forestal representado por las podas no influye en las variables de crecimiento, producción y productividad en *P. patula* en la región andina sur evaluadas en diferentes pisos altitudinales.

Las variables de temperatura y altitud están asociadas con las variables de crecimiento y producción y productividad en toda la gradiente altitudinal. A mayor temperatura y menor altitud se va a registrar mayores valores en las variables evaluadas. Por lo contrario a mayor altitud registra una menor respuesta de las variables analizadas.

Variables edáficas de K, Ca, Mg están relacionadas negativamente con las variables de crecimiento, producción y productividad en toda la gradiente altitudinal. Están presentes con mayores cantidades en sitios donde se registran los menores valores en las variables evaluadas es decir en los sitios de mayor altitud, lo cual obedece a la no disponibilidad de nutrientes para las plantas por fenómenos de mineralización debido a factores extremos como la gran cantidad de humedad y bajas temperaturas.

**10. RECOMENDACIONES**

Instalar parcelas permanentes de muestreo (PPM) para evaluar periódicamente el crecimiento y rendimiento de *P. Patula* y generar información específica dentro de los Andes del sur del Ecuador.

Para plantaciones con fines comerciales no se recomienda plantar *P. Patula* sobre los 3200 msnm debido a las condiciones climáticas, edáficas y topográficas, el crecimiento es muy lento y produce menor volumen de madera. Con fines de conservación se debería restaurar los bosques y páramos utilizando el pino como una especie facilitadora a través de enriquecimiento.

Realizar un diagnóstico de la calidad de sitio y realizar un cronograma de manejo silvícola previa a establecer la plantación de *P. Patula* esto permitirá obtener plantaciones con mayor crecimiento y productividad.

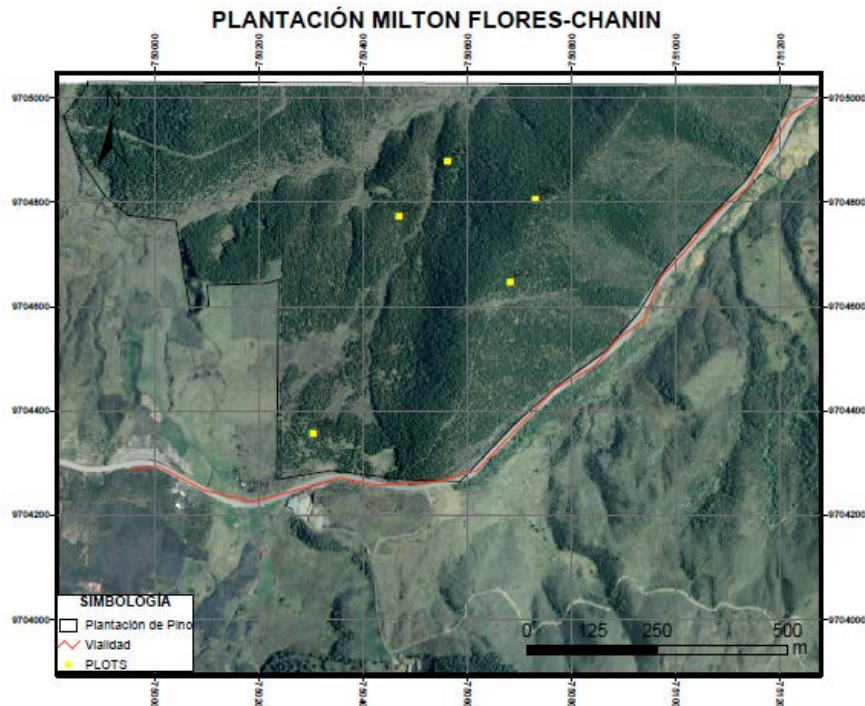


UNIVERSIDAD DE CUENCA

## 11. ANEXOS

### Anexo 1. Mapas guías de las plantaciones

#### Anexo 1a. Plantación Milton Flores-Chanin (3200msnm)



#### Anexo 1b. Plantación Juan Carlos Paredes-La Paz (3200msnm)



#### Anexo 1c. Plantación Universidad de Cuenca- Nero (3200msnm)

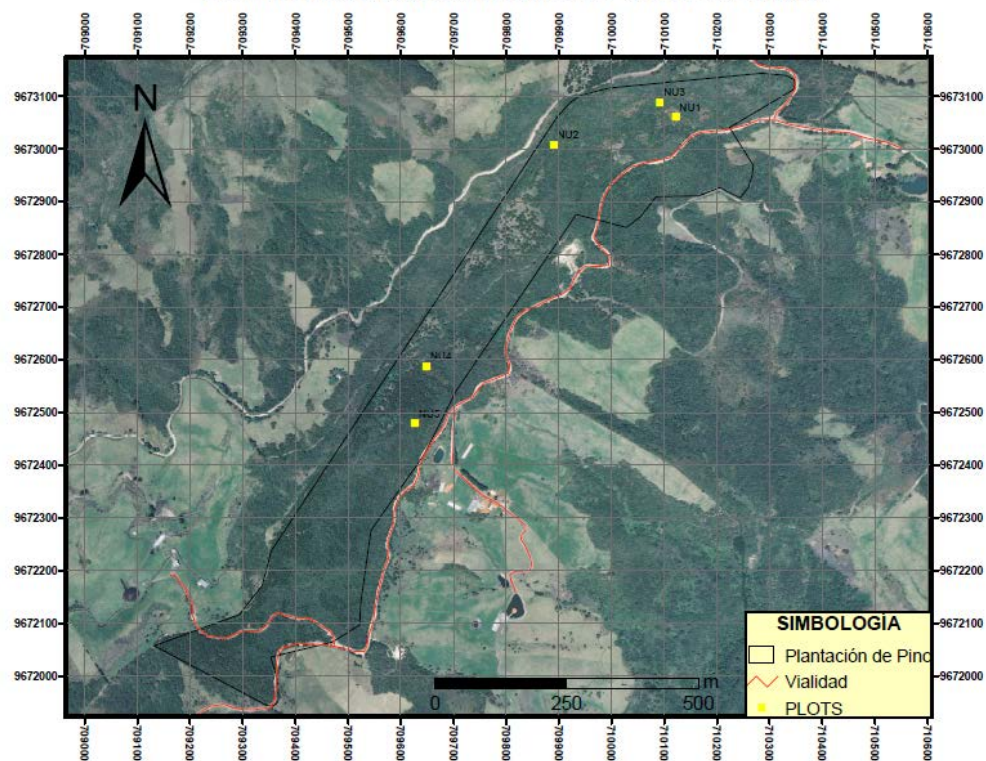
Marco Fernando Sánchez Nugra  
Darío Javier Guallpa Tenemaza





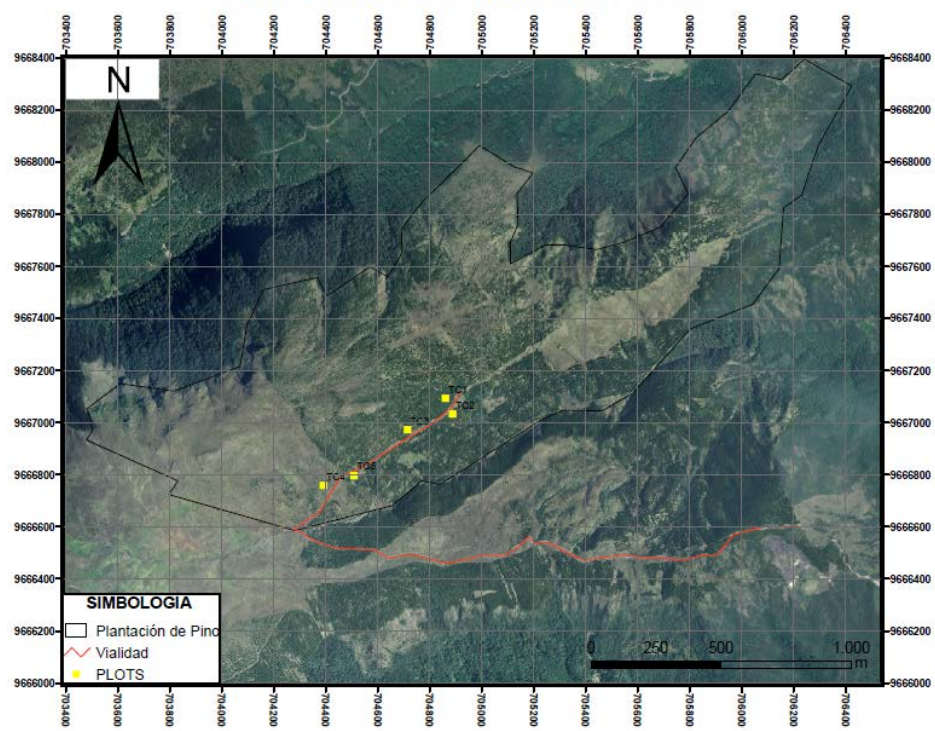
## UNIVERSIDAD DE CUENCA

## PLANTACIÓN UNIVERSIDAD DE CUENCA-NERO



## Anexo 1d. Plantación Familia Calderón- Tutupali (3500msnm)

## PLANTACIÓN F. CALDERÓN-TUTUPALI

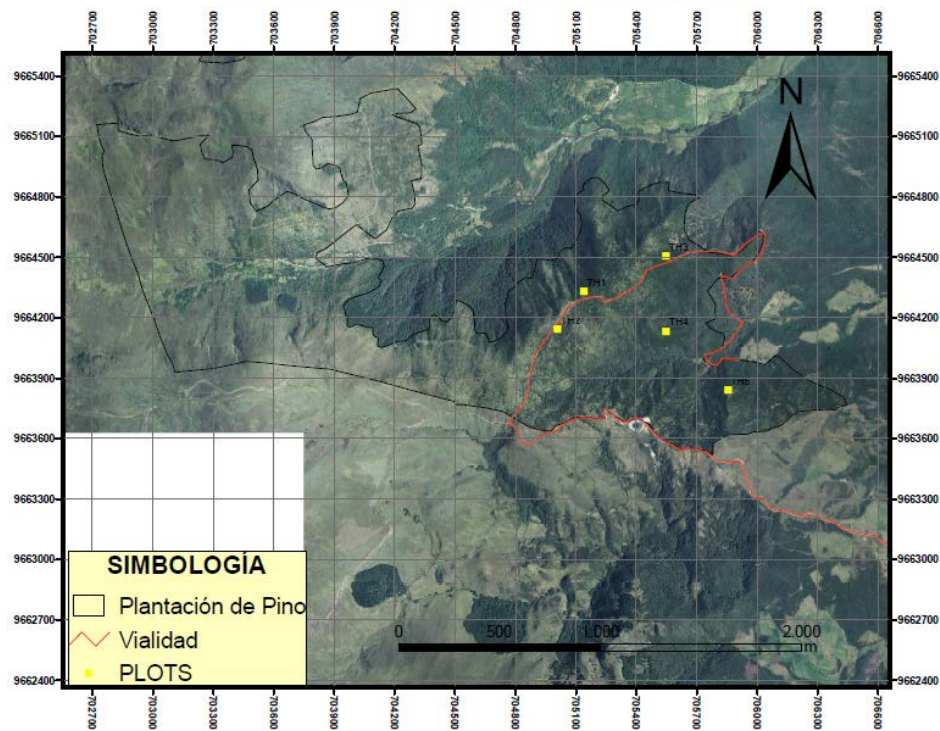


## Anexo 1e. Plantation Kurt Heimbach-Tutupali (3500msnm)

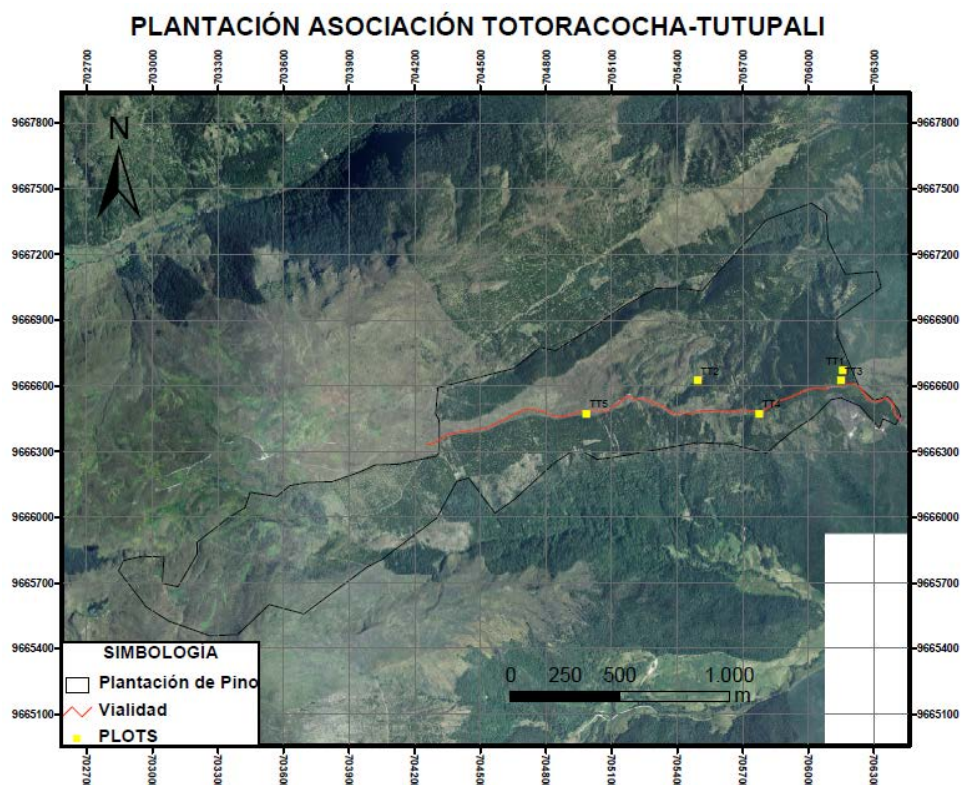




UNIVERSIDAD DE CUENCA  
PLANTACIÓN KURT HEIMBACH-TUTUPALI



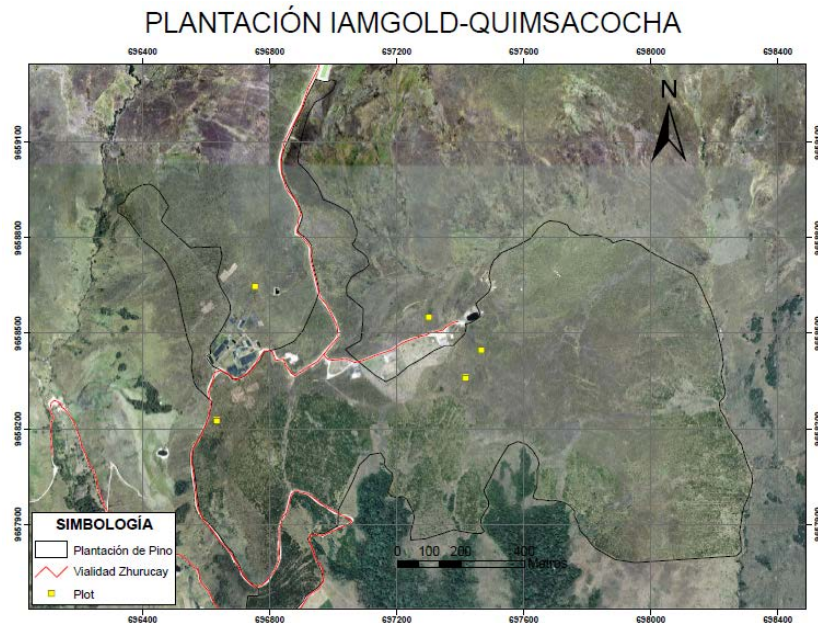
Anexo 1f. Plantación Asociación Totoracocha-Tutupali (3500msnm)



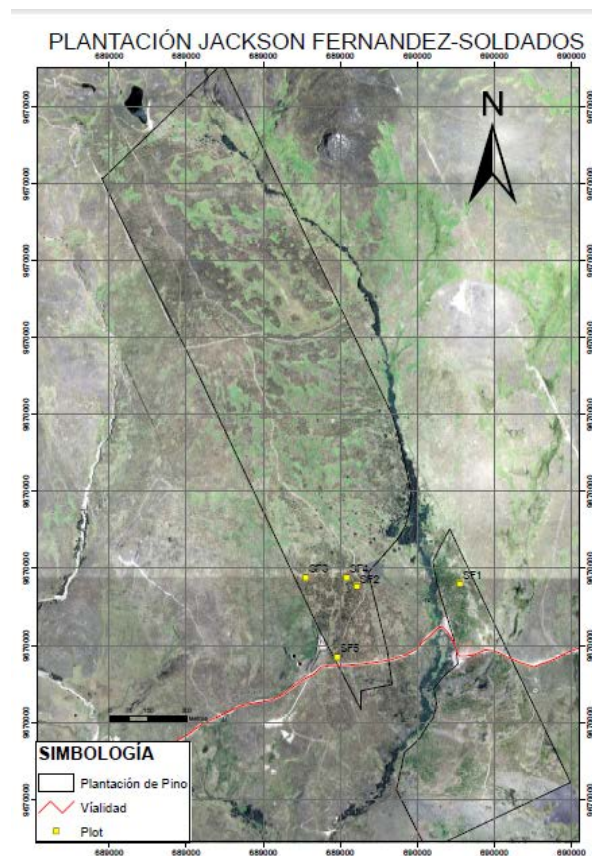


UNIVERSIDAD DE CUENCA

**Anexo 1g. Plantation I am Gold- Quimsacocha (3700msnm)**



**Anexo 1h. Plantación Jackson Fernández- Soldados (3700msnm)**



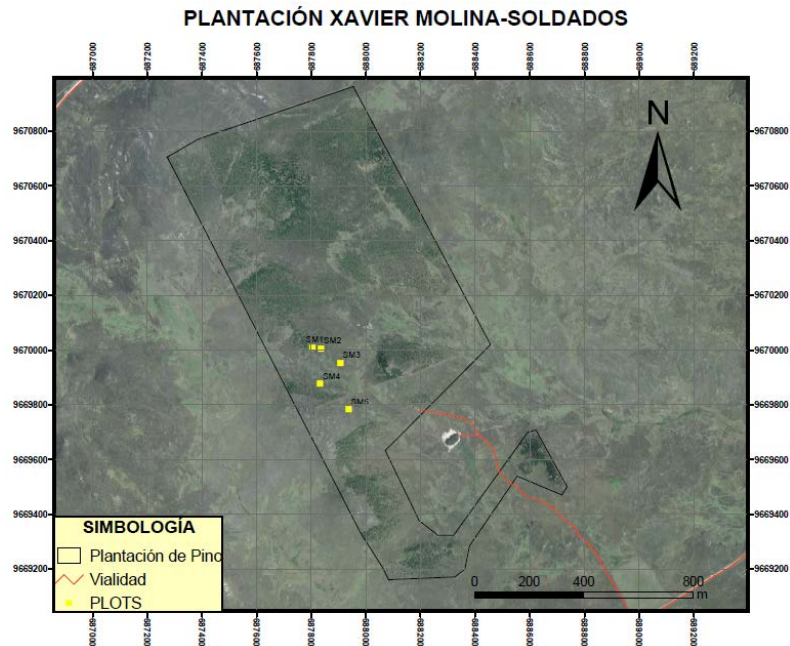
Marco Fernando Sánchez Nugra  
Darío Javier Guallpa Tenemaza





# UNIVERSIDAD DE CUENCA

## Anexo 1i. Plantación Xavier Molina- Soldados (3700msnsm)



## Anexo 2. Parcelas identificadas con sus respectivas coordenadas en los diferentes sitios de investigación.

Nro. parcela	Altitud	Edad - plantación	Manejo	Sitio	Propietario	X	Y
1	3200	16	3200-no	Nero	U. Cuenca	709628,7	9672488
2	3200	16	3200-no	Nero	U. Cuenca	710122	9673061
3	3200	16	3200-no	Nero	U. Cuenca	709890	9673009
4	3200	16	3200-no	Nero	U. Cuenca	710092	9673089
5	3200	16	3200-no	Nero	U. Cuenca	709649	9672588
6	3200	16	3200-si	La paz	J. Paredes	708089,1	9633454
7	3200	16	3200-si	La paz	J. Paredes	708221	9633440
8	3200	16	3200-si	La paz	M. Florez	750730	9704805
9	3200	17	3200-si	La paz	M. Florez	750561	9704880
10	3200	17	3200-si	La paz	M. Florez	750310,4	9704370
11	3500	19	3500-	Tutupal	F.	704860	9667094





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

			no	i	Calderón		
12	3500	19	3500-no	Tutupal i	F. Calderón	704887	9667032
13	3500	19	3500-no	Tutupal i	F. Calderón	704713	9666971
14	3500	19	3500-no	Tutupal i	F. Calderón	704390	9666756
15	3500	19	3500-no	Tutupal i	F. Calderón	704508	9666796
16	3500	19	3500-si	Tutupal i	A. Totoracoc ha	706157	9666670
17	3500	19	3500-si	Tutupal i	A. Totoracoc ha	704984	9666474
18	3500	12	3500-si	Tutupal i	Heimback	705546	9664507
19	3500	12	3500-si	Tutupal i	Heimback	705547	9664132
20	3500	12	3500-si	Tutupal i	Heimback	705854	9663839
21	3700	14	3700-no	Soldad os	Jackson Fernánde z	689866	9672839
22	3700	14	3700-no	Soldad os	Jackson Fernánde z	689465	9672829
23	3700	14	3700-no	Soldad os	Jackson Fernánde z	689266	9672864
24	3700	14	3700-no	Soldad os	Jackson Fernánde z	689424	9672865
25	3700	17	3700-no	Soldad os	Javier Molina	687936	9669783
26	3700	17	3700-si	Quimsa cocha	Iam gold	697417	9658359
27	3700	17	3700-si	Quimsa cocha	Iam gold	697466	9658447
28	3700	14	3700-si	Soldad os	Jackson Fernánde z	689387	9672554
29	3700	17	3700-si	Soldad os	Javier Molina	687803	9670010
30	3700	17	3700-si	Soldad os	Javier Molina	687906	9669954

**Anexo 3.** Tabla para tomar datos en campo

Marco Fernando Sánchez Nugra  
Darío Javier Guallpa Tenemaza



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Coordenadas GPS_X										
Coordenadas GPS_Y										
Coordenadas GPS_Z										
Fecha			Exposición				Cobertura de la corona		Dist entre filas	
Sitio			Pendiente				Vegetación en tierra		Dist. Dentro de las filas	
Parcela N°			Año de establecimiento				Cobertura gr. veg.		Adelgazamiento	
Arbol	Sp.	DBH	Altura	Altura comercial	Poda	Diámetro de la corona [m]	Diámetro de la corona 90°	Daño de los tallos	Danos de la corona	Observaciones

**Anexo 4.** Tabla de variables de crecimiento y productividad

	Variables de crecimiento					Variables de productividad			
Tratamientos	Altura	DBH	IS	IMA- Atura (m/ha/año)	IMA- DBH (cm/ha/año)	Volumen total (m3/ha)	Área basal (m2/ha/año)	IMA- Volumen total (m3/ha/año)	IMA- G
3200-no	13,59	22,97	15,10	0,85	1,44	214,57	30,39	13,41	1,90
3200-no	11,51	18,91	13,73	0,72	1,18	123,16	20,25	7,70	1,27
3200-no	9,42	17,88	14,80	0,59	1,12	103,34	19,89	6,46	1,24
3200-no	11,21	18,49	15,63	0,70	1,16	95,08	15,68	5,94	0,98
3200-no	11,15	18,89	17,40	0,70	1,18	133,94	22,81	8,37	1,43
3200-si	7,04	14,95	9,83	0,44	0,93	67,97	18,15	4,25	1,13
3200-si	11,50	24,07	13,47	0,72	1,50	249,03	42,88	15,56	2,68
3200-si	10,65	27,15	13,97	0,63	1,60	268,65	49,68	15,80	2,92
3200-si	13,09	26,92	15,10	0,77	1,58	239,17	36,46	14,07	2,14
3200-si	10,12	19,95	13,03	0,60	1,17	119,12	22,74	7,01	1,34
3500-no	7,43	14,57	9,60	0,39	0,77	70,94	18,61	3,73	0,98
3500-no	7,85	17,07	9,87	0,41	0,90	87,06	21,66	4,58	1,14
3500-no	7,70	15,08	10,23	0,41	0,79	64,18	15,96	3,38	0,84
3500-no	5,94	11,83	7,33	0,31	0,62	19,96	6,35	1,05	0,33
3500-no	8,07	17,88	10,77	0,42	0,94	77,49	18,27	4,08	0,96
3500-si	11,38	23,69	13,77	0,60	1,25	172,80	28,98	9,09	1,53
3500-si	9,05	18,19	11,80	0,48	0,96	125,99	26,42	6,63	1,39
3500-si	11,53	23,63	14,30	0,96	1,97	205,25	35,36	17,10	2,95



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

3500-si	9,55	21,27	13,33	0,80	1,77	147,97	28,36	12,33	2,36
3500-si	5,71	13,51	8,57	0,48	1,13	41,77	12,69	3,48	1,06
3700-no	5,38	11,78	8,20	0,38	0,84	27,34	8,83	1,95	0,63
3700-no	4,48	10,52	5,90	0,32	0,75	11,58	4,70	0,83	0,34
3700-no	4,55	9,81	6,27	0,33	0,70	11,65	4,65	0,83	0,33
3700-no	4,82	11,82	6,30	0,34	0,84	20,81	7,98	1,49	0,57
3700-no	3,16	5,75	4,53	0,19	0,34	2,60	1,42	0,15	0,08
3700-si	4,72	8,56	5,57	0,28	0,50	7,20	2,97	0,42	0,17
3700-si	3,81	6,99	4,87	0,22	0,41	4,49	2,27	0,26	0,13
3700-si	5,03	11,98	7,13	0,36	0,86	15,73	5,62	1,12	0,40
3700-si	6,45	17,79	7,60	0,38	1,05	50,04	15,44	2,94	0,91
3700-si	4,72	11,63	5,40	0,28	0,68	8,01	3,18	0,47	0,19

**Anexo 5.** Tabla de variables climáticas de precipitación , temperatura y topográficas

Tratamientos	Pendiente %	Altitud	Pre-anual	Tem °C media anual
3200-no	30,00	3233	959,1	9,9
3200-no	15,00	3269	969,0	9,9
3200-no	30,00	3245	949,8	9,9
3200-no	21,00	3268	969,0	9,9
3200-no	20,00	3260	959,1	9,9
3200-si	17,88	3383	650,7	9,6
3200-si	15,00	3359	650,7	9,6
3200-si	15,00	3388	1125,2	9,7
3200-si	10,00	3318	1125,2	9,7
3200-si	5,13	3377	1102,7	9,8
3500-no	45,00	3530	867,9	9,2
3500-no	15,00	3507	865,5	8,4
3500-no	35,00	3516	865,5	8,4
3500-no	21,00	3577	873,5	7,6
3500-no	43,00	3561	873,5	7,6
3500-si	31,00	3451	866,3	8,5
3500-si	27,00	3464	862,9	9,2
3500-si	32,00	3408	855,0	8,8
3500-si	13,00	3420	863,3	8,8
3500-si	41,00	3462	861,3	9,3
3700-no	24,00	3761	1137,6	6,4
3700-no	10,00	3765	1139,6	6,4
3700-no	18,00	3765	1139,6	6,4
3700-no	9,00	3766	1139,6	6,4
3700-no	31,00	3701	1094,8	7,0



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

3700-si	25,00	3700	834,7	7,3
3700-si	16,00	3714	840,7	7,4
3700-si	4,00	3723	1130,0	7,0
3700-si	28,00	3725	1102,4	6,6
3700-si	4,00	3715	1102,4	6,6

**Anexo 6.** Tabla de variables edáficas

Tratamientos	pH	MO(%)	N(%)	P (ppm)	K (cmol/Kg)	Ca (cmol/Kg)	Mg (cmol/Kg)	Fe (ppm)	Mn (ppm)	Cu (ppm)	Zn (ppm)
3200-no	4,22	10,89	0,54	3,50	0,19	2,06	0,63	680,00	13,74	11,56	1,73
3200-no	4,34	11,52	0,58	3,50	0,23	1,90	0,78	502,60	17,08	17,18	2,29
3200-no	4,19	11,07	0,55	3,50	0,11	1,01	0,44	553,80	3,79	9,27	1,05
3200-no	4,40	11,56	0,58	3,50	0,15	1,60	0,67	495,30	12,53	11,44	2,13
3200-no	4,22	11,33	0,57	3,50	0,13	1,33	0,40	667,60	9,70	16,08	1,62
3200-si	4,23	8,64	0,43	3,50	0,14	1,86	0,60	819,40	11,36	5,75	2,38
3200-si	4,25	7,57	0,38	3,50	0,10	1,57	0,64	793,00	3,34	5,66	1,77
3200-si	4,37	11,07	0,55	3,50	0,18	1,74	0,55	653,70	9,79	12,45	3,27
3200-si	4,57	30,58	1,53	3,50	0,20	1,65	0,50	486,10	18,50	10,57	6,46
3200-si	4,39	36,34	1,82	3,50	0,27	1,62	0,59	389,00	19,06	8,92	4,82
3500-no	4,00	18,51	0,93	3,50	0,15	1,18	0,56	779,40	4,02	8,73	2,02
3500-no	3,93	17,38	0,87	3,50	0,16	1,14	0,54	768,60	4,05	7,95	1,85
3500-no	3,87	21,50	1,07	3,50	0,21	1,01	0,51	785,80	3,56	8,73	2,98
3500-no	4,23	10,06	0,50	3,50	0,16	1,16	0,56	729,50	10,81	10,48	2,92
3500-no	3,95	9,76	0,49	3,50	0,15	1,10	0,58	825,60	4,58	11,18	2,38
3500-si	4,11	9,76	0,49	3,50	0,17	1,22	0,54	831,60	11,46	21,14	3,06
3500-si	4,07	8,68	0,43	3,50	0,10	1,36	0,51	779,60	4,03	13,00	1,47
3500-si	4,31	22,06	1,10	3,50	0,20	1,45	0,61	572,00	8,77	9,47	1,95
3500-si	4,09	9,13	0,46	3,50	0,12	1,23	0,48	809,00	22,74	13,29	2,65
3500-si	4,30	11,22	0,56	3,50	0,14	0,93	0,38	816,10	2,63	15,78	1,16
3700-no	4,22	10,51	0,53	3,50	0,24	5,61	1,17	455,30	30,93	4,71	4,69
3700-no	4,22	17,20	0,86	3,50	0,54	5,96	1,12	556,60	35,41	4,04	5,32
3700-no	4,27	16,82	0,84	3,50	0,29	3,93	0,80	404,10	22,61	4,56	4,38
3700-no	4,43	10,55	0,53	3,50	0,38	12,10	1,66	607,50	55,84	3,40	8,95
3700-no	4,50	9,46	0,47	3,50	0,32	4,09	0,87	794,90	25,75	9,05	2,31
3700-si	3,82	22,43	1,12	15,70	0,25	1,11	0,45	935,10	9,62	7,11	3,12
3700-si	3,95	18,88	0,94	7,90	0,40	1,57	0,64	922,20	3,44	7,91	4,06
3700-si	4,28	17,01	0,85	3,50	0,41	3,98	0,91	503,10	52,92	4,86	2,73
3700-si	4,33	9,76	0,49	3,50	0,44	6,51	1,18	739,00	19,59	5,49	2,43
3700-si	4,81	11,18	0,56	3,50	0,57	5,56	1,26	505,20	10,22	5,83	3,07

**Anexo 7.** Valores de correlaciones

**Anexo 7a.** Correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiográficas con las variables de crecimiento en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable (1)	Variable (2)	n	r	p-valor
Pendiente %	Altura (m)	30	0,05	0,7747
Pendiente %	DAP (cm)	30	0	0,98
Pendiente %	IS (m)	30	0,09	0,6371
Pendiente %	IMA-altura (m/año)	30	0,01	0,9562
Pendiente %	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,04	0,8536
Altitud (msnm)	Altura (m)	30	-0,89	<0,0001
Altitud (msnm)	DAP (cm)	30	-0,76	<0,0001
Altitud (msnm)	IS (m)	30	-0,92	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA-altura (m/año)	30	-0,83	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,68	<0,0001
Precipitación (mm)	Altura (m)	30	-0,22	0,2365
Precipitación (mm)	DAP (cm)	30	-0,15	0,425
Precipitación (mm)	IS (m)	30	-0,22	0,248
Precipitación (mm)	IMA-altura (m/año)	30	-0,19	0,3043
Precipitación (mm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,13	0,5089
Temperatura oC	Altura (m)	30	0,82	<0,0001



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Temperatura oC	DAP (cm)	30	0,7	<0,0001
Temperatura oC	IS (m)	30	0,85	<0,0001
Temperatura oC	IMA-altura (m/año)	30	0,75	<0,0001
Temperatura oC	IMA-DAP (cm/año)	30	0,62	0,0003

**Anexo 7b.** Correlaciones de Pearson entre variables edáficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
pH	Altura (m)	30	0,06	0,7421
pH	DAP (cm)	30	0,12	0,5417
pH	IS (m)	30	0,03	0,882
pH	IMA-Altura (m/año)	30	0,14	0,4697
pH	IMA-DAP (cm/año)	30	0,18	0,3301
MO (%)	Altura (m)	30	0,08	0,6643
MO (%)	DAP (cm)	30	0,05	0,7798
MO ( %)	IS (m)	30	0,02	0,9059
MO (%)	IMA-Altura (m/año)	30	0,07	0,7241
MO (%)	IMA-DAP (cm/año)	30	0,03	0,8556
N (%)	Altura (m)	30	0,08	0,6604
N (%)	DAP (cm)	30	0,05	0,7753
N (%)	IS (m)	30	0,02	0,9007
N (%)	IMA-Altura (m/año)	30	0,07	0,7199



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

N (%)	IMA-DAP (cm/año)	30	0,04	0,8507
P (ppm)	Altura (m)	30	-0,28	0,1277
P (ppm)	DAP (cm)	30	-0,35	0,0556
P (ppm)	IS (m)	30	-0,32	0,0804
P (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,29	0,1257
P (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,35	0,0619
K (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,59	0,0005
K (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,52	0,0034
K (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,67	0,0001
K (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,53	0,0025
K (cmol/Kg)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,45	0,0128
Ca (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,48	0,0076
Ca (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,37	0,0431
Ca (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,5	0,0044
Ca (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,39	0,0327
Ca (cmol/Kg)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,28	0,14
Mg (cmol/Kg)	Altura (m)	30	-0,48	0,0079
Mg (cmol/Kg)	DAP (cm)	30	-0,38	0,0357
Mg (cmol/Kg)	IS (m)	30	-0,53	0,0027
Mg (cmol/Kg)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,4	0,0274
Mg (cmol/Kg)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,3	0,1018
Fe (ppm)	Altura (m)	30	-0,15	0,4235
Fe (ppm)	DAP (cm)	30	-0,12	0,5265



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Fe (ppm)	IS (m)	30	-0,18	0,3544
Fe (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,22	0,2441
Fe (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,19	0,3165
Mn (ppm)	Altura (m)	30	-0,34	0,0652
Mn (ppm)	DAP (cm)	30	-0,28	0,1288
Mn (ppm)	IS (m)	30	-0,34	0,0643
Mn (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,21	0,2642
Mn (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,13	0,483
Cu (ppm)	Altura (m)	30	0,58	0,0009
Cu (ppm)	DAP (cm)	30	0,48	0,0067
Cu (ppm)	IS (m)	30	0,6	0,0004
Cu (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	0,5	0,0052
Cu (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	0,4	0,0287
Zn (ppm)	Altura (m)	30	-0,25	0,1755
Zn (ppm)	DAP (cm)	30	-0,17	0,3671
Zn (ppm)	IS (m)	30	-0,32	0,0876
Zn (ppm)	IMA-Altura (m/año)	30	-0,24	0,2059
Zn (ppm)	IMA-DAP (cm/año)	30	-0,15	0,4226

**Anexo 7c.** Correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
Pendiente %	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,05	0,8051
Pendiente %	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0	0,9964
Pendiente %	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0	0,9884
Pendiente %	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,03	0,8653
Altitud (msnm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,72	<0,0001
Altitud (msnm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,76	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,74	<0,0001
Altitud (msnm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,7	<0,0001
Precipitación (mm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,25	0,1739
Precipitación (mm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,21	0,2754
Precipitación (mm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,22	0,2375
Precipitación (mm)	IMA- Área basal	30	-0,26	0,163



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

	(m <sup>2</sup> /ha/año)			
Temperatura oC	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,72	<0,0001
Temperatura oC	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,73	<0,0001
Temperatura oC	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,7	<0,0001
Temperatura oC	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,68	<0,0001

**Anexo 7d.** Correlaciones de Pearson entre variables ambientales y fisiográficas con las de producción y productividad en la gradiente altitudinal, en parcelas de 0,06 has en plantaciones de *P. patula* de las provincias de Azuay y Cañar.

Variable(1)	Variable(2)	n	Pearson	p-valor
pH	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,03	0,8827
pH	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,1	0,6046
pH	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,12	0,5339
pH	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,07	0,718
MO(%)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,01	0,9514
MO(%)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,05	0,8067
MO(%)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,05	0,8026
MO(%)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,01	0,9619
N(%)	Área basal	30	0,01	0,9508



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

	(m <sup>2</sup> /ha)			
N(%)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,05	0,8068
N(%)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,05	0,8028
N(%)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,01	0,9612
P(ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,3	0,1071
P(ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,26	0,1627
P(ppm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,25	0,1753
P(ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,29	0,1159
K(cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,58	0,0007
K(cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,54	0,0019
K(cmol/Kg)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,52	0,0029
K(cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,55	0,0015
Ca(cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,41	0,0236
Ca(cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,41	0,023
Ca(cmol/Kg)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,39	0,0318
Ca(cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,38	0,0402
Mg(cmol/Kg)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,44	0,0149
Mg(cmol/Kg)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,43	0,0164
Mg(cmol/Kg)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,41	0,0233
Mg(cmol/Kg)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,41	0,0252
Fe(ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,02	0,9342
Fe(ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,05	0,8031
Fe(ppm)	IMA- Volumen	30	-0,07	0,7272



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

	total (m <sup>3</sup> /ha/año)			
Fe(ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,02	0,926
Mn(ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,35	0,0575
Mn(ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,32	0,0885
Mn(ppm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,28	0,1385
Mn(ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,29	0,1238
Cu(ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	0,42	0,0196
Cu(ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	0,46	0,0105
Cu(ppm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	0,42	0,0195
Cu(ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	0,39	0,0333
Zn(ppm)	Área basal (m <sup>2</sup> /ha)	30	-0,21	0,2599
Zn(ppm)	Volumen total (m <sup>3</sup> /ha)	30	-0,18	0,338
Zn(ppm)	IMA- Volumen total (m <sup>3</sup> /ha/año)	30	-0,2	0,3004
Zn(ppm)	IMA- Área basal (m <sup>2</sup> /ha/año)	30	-0,22	0,2506

**12. BIBLIOGRAFIA**

- Aichholzer F, W Durán. 2010. Caracterización y comportamiento de un ecosistema de páramo bajo la influencia de bosque de pino(*Pinus patula*), bosque nativo y pajonal.
- Alvarez E, J Velázquez. 2012. Fertilización con Nitrogeno, Fosforo, y Potasio en un latizal de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Revistas Chapingo Seria Ciencias Forestales y del Ambiente* XVIII:33-42.
- Baltzer JL, SC Thomas, R Nilus, DFR Burslem. 2005. Edaphic specialization in tropical trees: physiological correlates and responses to reciprocal transplantation. *Ecology* 86:3063-3077.
- Belcher B, K Schreckenberg. 2007. Commercialisation of non-timber forest products: a reality check. *Development Policy Review* 25:355-377.
- Bernier R. 2000. Técnicas de Diagnóstico de Fertilidad del Suelo, Fertilización y Mejoramiento de Praderas.71.
- Binkley D, MG Ortiz, RO Pérez. 1993. Nutrición forestal: prácticas de manejo. Limusa.
- Breckle. U. 2005. Bosque humedo de montaña.
- Buytaert W, R Céleri. 2006. Human impact on the hydrology of the Andean páramos. *Earth-Science Reviews* 79:53-72.
- Camarillo. L SR, et. al., 2013. Altitudinal variation in morphological traits of *Pinus patula* populations from Oaxaca state, Mexico, and its use in the zoning. *Bosque (Valdivia)* 34:11-12.
- Cansino J. 2002. Dendometría Básica.30-162.
- Castillo H. 1998. Guía para plantaciones forestales comerciales-Caldas. *CONIF* 32:15-20.
- Cojom J. 2012. Crecimiento y Productividad de la plantaciones Forestales de Pino Candelillo. *INAB*.
- Cossalter C, C Pye-Smith. 2003. Fast-wood forestry: myths and realities. CIFOR.
- Dvorak W, G Hodge, J Kietzka, F Malan, L Osorio, T Stanger. 2000. *Pinus patula. Conservation and testing of tropical and subtropical forest tree species by the CAMCORE Cooperative*:148-173.
- Evans J, JW Turnbull. 2004. Plantation forestry in the tropics: The role, silviculture, and use of planted forests for industrial, social, environmental, and agroforestry purposes. Oxford University Press.
- FAO. 1990. estimación del volumen Forestal y predicción del rendimiento. *FAO*:6-90.
- Farley KA. 2007. Grasslands to tree plantations: forest transition in the Andes of Ecuador. *Annals of the Association of American Geographers* 97:755-771.
- Farley KA, EF Kelly. 2004. Effects of afforestation of a páramo grassland on soil nutrient status. *Forest Ecology and Management* 195:281-290.
- Fox TR. 2000. Sustained productivity in intensively managed forest plantations. *Forest Ecology and Management* 138:187-202.
- Gale MR, D Grigal, R Harding. 1991. Soil productivity index: predictions of site quality for white spruce plantations. *Soil Science Society of America Journal* 55:1701-1708.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Galeas J, R Guevara. 2012. Metodología para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. *MAE*:7-85.
- Garcia A. 2011. Efecto de un biofertilizante en el analisis nutrimental y desarrollo de Pino patula.27.
- Granda P. 2005. Impactos de las plantaciones forestales del proyecto holandés FACE-PROFAFOR sobre comunidades indígenas y campesinas. *Acción Ecológica* 1:8-85.
- Gutierrez G, J Flores. 2010. Factores ambientales de Pinus patula y su adaptación a las condiciones de la Sierra Purépecha, Michoacán. *Foresta Veracruzana* 12.
- Harden C. 2013. Changes in carbon storage under alternative land uses in biodiverse Andean grasslands: implications for payment for ecosystem services. *Conservation Letters* 6:21-27.
- Herrera B. 2003. Efecto de la fertilizacion en las plantaciones de PINO Pinus radiata (D. Don) EN LASSO - COTOPAXI.9-15.
- Hofstede R, N Aguirre. 2001. Sistemas forestales integrales para la sierra del ecuador. *ECOPAR*:14-23.
- Hofstede R, J Lips. 1998. Geografia, Ecologia y Forestacion de la Sierra alta de Ecuador.:242.
- Hofstede R, L Ordoñez. 2004. Comportamiento inicial de especies forestales plantadas en el páramo.3-6.
- Hofstede RG, JP Groenendijk, R Coppus, JC Fehse, J Sevink. 2002. Impact of pine plantations on soils and vegetation in the Ecuadorian high Andes. *Mountain Research and Development* 22:159-167.
- Hofstede. R LJ, et al. 1998. Geografía, ecología y forestación de la sierra alta del Ecuador. 75-77 p.
- Jackson RB, JS Sperry, TE Dawson. 2000. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions. *Trends in plant science* 5:482-488.
- Little C, A Lara, J McPhee, R Urrutia. 2009. Revealing the impact of forest exotic plantations on water yield in large scale watersheds in South-Central Chile. *Journal of Hydrology* 374:162-170.
- Lorraine M. 2005. Nutrient concentration of the inner bark tissue in pine trees in Mpumalanga in relation to baboon damage.27.
- MAE-MAGAP. 2012. Acuerdo Interministerial 002 Magap-Mae.
- McKay H. 1997. A review of the effect of stresses between lifting and planting on nursery stock quality and performance. *New Forests* 13:369-399.
- Medina G. 2000. La forestación en los páramos. *EcoCiencia*:20-76.
- Merino A, C Rey. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de Pinus radiata D . Don en Galicia. 12:85-98.
- Montiel O, L Zamudio. 2007. Caracterización de una plantación de Pinus patula en el Municipio de Teziutlán - Estado de Puebla.3-15.
- Neilsen W, E Pinkard. 2003. Effects of green pruning on growth of Pinus radiata. *Canadian Journal of Forest Research* 33:2067-2073.
- Paguanquiza P. 2012. Elaboracion de una linea base para determinar el crecimiento y desarrollo de las plantaciones de Pinus patula y Pinus radiata.20-90.
- Pinkard E, C Beadle. 2000. A physiological approach to pruning. *The International Forestry Review*:295-305.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Ramirez H. 1999. Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de Pinus en edades tempranas. 19-34.
- Restrepo E. 2011. Guías silviculturales para el manejo de especies forestales con miras a la producción de madera en la zona Andina Colombiana. 1-105 p.
- Salgado S. 2010. Propuesta Metodológica para la Representación Cartográfica de los Ecosistemas del Ecuador Continental. CONDESAN.
- Sargent C, S Bass. 2013. Plantation politics: forest plantations in development. Routledge.
- Schawe M. 2003. Vegetación, suelos y clima en los diferentes pisos altitudinales de un bosque montano de Yungas, Bolivia. *Ecología en Bolivia* 38:3-14.
- Serrada R. 2008. Influencia de los factores ecologicos en la vegetacion. *EUIT Forestal*:83-132.
- Soto J. 2007. Guia práctica para la instacion y manejo de plantaciones forestales.
- Stephens S, MR Wagner. 2007. Forest plantations and biodiversity: a fresh perspective. *Journal of Forestry* 105:307-313.
- Stevens GC. 1992. The elevational gradient in altitudinal range: an extension of Rapoport's latitudinal rule to altitude. *American naturalist*:893-911.
- Turnbull M, D Tissue, K Griffin, G Rogers, D Whitehead. 1998. Photosynthetic acclimation to long-term exposure to elevated CO<sub>2</sub> concentration in Pinus radiata D. Don. is related to age of needles. *Plant, Cell & Environment* 21:1019-1028.
- Valbuena-Carabaña M, UL de Heredia, P Fuentes-Utrilla, I González-Doncel, L Gil. 2010. Historical and recent changes in the Spanish forests: a socio-economic process. *Review of palaeobotany and palynology* 162:492-506.
- Varmola M, F Montagnini. 2005. 7 Funciones diversificadas de los bosques plantados.
- Velasquez E. 2007. Planificación Estratégica plantaciones Forestales del Ecuador. *CORPEI*:20-31.
- Wesenbeeck B. 2003. Strong effects of a plantation with Pinus patula on Andean subpáramo vegetation: a case study from Colombia. *Biological Conservation* 114:207-218.